

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

**ТРУДЫ
VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ – 2015»**

Москва, 20–22 апреля 2015 г.

**Москва
Российский университет дружбы народов
2015**

УДК 62:33(063)
ББК 30
Т78

Утверждено
РИС Ученого совета
Российского университета
дружбы народов

Под общей редакцией
кандидата технических наук, доцента *Н.К. Пономарева*

Т78 **Труды VIII Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2015».** Москва, 20–22 апреля 2015 г. / под общ. ред. Н.К. Пономарева. – Москва : РУДН, 2015. – 597 с. : ил.

ISBN 978-5-209-06460-2

Приводятся основные доклады Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2015», проходившей с 20 по 22 апреля 2015 г. в Москве. Конференция была организована Российским университетом дружбы народов.

В рамках Международной научно-практической конференции работали 14 секций. Материалы для публикации отобраны Оргкомитетом конференции в соответствии с рекомендациями независимых рецензентов и расположены по секциям.

Издание предназначено для научных сотрудников, аспирантов, инженеров, занимающихся аналогичными задачами, а также преподавателей высших учебных заведений математического и технического профиля.

Подготовлено Оргкомитетом Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2015».

УДК 62:33(063)
ББК 30

ISBN 978-5-209-06460-2

© Коллектив авторов, 2015
© Российский университет дружбы народов,
Издательство, 2015

Пленарные доклады

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ СИМВОЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ

А.И. Дивеев¹, *д.т.н.*

Е.А. Софронова², *к.т.н.*

1 – ФГБУН Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

2 – Кафедра кибернетики и мехатроники
ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассматривается применение методов символьной регрессии для решения задач синтеза управления и идентификации. Сравняются три метода сетевого оператора, генетического и аналитического программирования. Для повышения эффективности поиска решения разработаны новые методы вариационного генетического и аналитического программирования. Приведены примеры использования трех методов для решения задачи синтеза управления подвижной тележкой без водителя для различных начальных состояний с учетом ее габаритов и фазовых ограничений.

Ключевые слова: синтез управления, идентификация, символьная регрессия, генетический алгоритм.

Существует огромное количество задач, в которых необходимо в качестве решения найти математическое выражение. К таким задачам из области управления относятся задача синтеза управления и задача идентификации математической модели объекта управления.

До последнего времени метод решения задач поиска математических выражений состоял в том, что исследователь сам задавал математическое выражение с точностью до значений параметров, а вычислительный метод обеспечивал поиск оптимальных по заданному критерию значений этих параметров. Для описания математического выражения с точностью до значений параметров использовались ряды, Тейлора, Фурье и др., а для поиска оптимальных значений параметров использовались методы конечномерной оптимизации или нелинейного программирования. Недостатком этих методов является то, что метод, в основном предназначен для поиска одномерных функций, а вид математического выражения задает исследователь, поэтому все необходимые свойства искомым функций должны быть известны и определяться свойствами используемых рядов. Для задач синтеза управления и идентификации моделей сложных

объектов или процессов такой подход малопригоден, так как искомые математические выражения, чаще всего, многомерны, могут быть не дифференцируемы и иметь разрывы первого рода.

К методам поиска закономерностей, основанным на параметрической оптимизации, следует отнести и метод нейронных сетей [1]. Данный метод не позволяет получить математическое выражение в явном виде, но может аппроксимировать нейронными сетями достаточно сложную многомерную функцию, в том числе и разрывную. Основным недостатком метода заключается в сложной процедуре поиска большого количества оптимальных для конкретной задачи значений параметров. Процедура поиска параметров в нейронных сетях называется «обучением нейронной сети». Вторым недостатком нейронных сетей заключается в том, что нейронные сети не дают явного описания искомой закономерности.

В последнее время появились новый класс методов, который направлен на поиск математических выражений произвольного вида. Данные методы называются методами символьной регрессии. По определению из Википедии [2] «Символьная регрессия — метод построения регрессионных моделей путем перебора различных произвольных суперпозиций функций из некоторого заданного набора. Суперпозиция функций при этом называется «программой», а стохастический оптимизационный алгоритм построения таких суперпозиций называется генетическим программированием.»

В настоящий период к символьной регрессии следует отнести следующие методы: метод генетического программирования [3], грамматической эволюции [4], аналитического программирования [5], сетевого оператора [6]-[8], метод вариационного генетического программирования [9], метод вариационного аналитического программирования [10].

Метод сетевого оператора был разработан непосредственно для решения задач синтеза управления. Метод для эффективного поиска использует принцип малых вариаций базисного решения. Такой подход позволяет за счет выбора хорошего базисного решения уменьшить пространство и сократить время поиска. Хорошее базисное решение задает специалист в области управления на основе опыта и результатов анализа задачи.

Применение принципа малых вариаций базисного решения к методам генетического и аналитического программирования привело к созданию новых методов вариационного генетического и аналитического программирования.

Одной из важнейших задач управления, где требуется найти решение в форме математического выражения, является задача синтеза оптимального управления. Приведем формулировку данной задачи.

Задана модель объекта управления в форме системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}), \quad (1)$$

где \mathbf{x} - вектор состояния объекта управления, \mathbf{u} - вектор управления, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{u} \in U \subseteq \mathbb{R}^m$, $m \leq n$, U - ограниченное компактное множество.

Для системы (1) задана область начальных значений

$$\mathbf{x}(0) \in X_0 \subseteq \mathbb{R}^n. \quad (2)$$

Заданы терминальные условия в виде $n-l$ мерного многообразия

$$\varphi_i(\mathbf{x}(t_f)) = 0, \quad i = \overline{1, l}. \quad (3)$$

Задан ограниченный снизу функционал

$$J = \int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \rightarrow \min. \quad (4)$$

где величина t_f может быть определена из терминальных условий (3), $t_f \leq t^+ < \infty$.

Необходимо найти управление в виде многомерной функции

$$\mathbf{u} = \mathbf{h}(\mathbf{x}). \quad (5)$$

где $\mathbf{h}(\mathbf{x}): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$, $\mathbf{h}(\mathbf{x})$ - функция, которая должна для обеспечения ограничения для вектора управления $\mathbf{h}(\mathbf{x}) \in U$ и для решения дифференциального уравнения $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{h}(\mathbf{x}))$ с начальными условиями $\mathbf{x}(0) \in X_0 \subset \mathbb{R}^n$ обеспечивать выполнение терминальных условий (3) и минимальное значение функционала (4).

Для кодирования суперпозиций функций в методе генетического программирования введём множество упорядоченных наборов функций с определённым количеством аргументов

$$F = \{F_0, \dots, F_n\}, \quad (6)$$

где

$$F_i = (f_1(z_1, \dots, z_i), \dots, f_{m_i}(z_1, \dots, z_i)), \quad i = \overline{0, n}. \quad (7)$$

$f_j(z_1, \dots, z_i)$ - функция под номером j с количеством аргументов i .

В качестве кода функции используем целочисленный вектор из двух элементов

$$\mathbf{s} = [s_1 \ s_2]^T, \quad (8)$$

где s_1 - количество аргументов функции, s_2 - номер функции в множестве F_{s_1} .

Согласно принятым обозначениям для функции $f_j(z_1, \dots, z_i)$ получаем $\mathbf{s} = [i \ j]^T$. Математическое выражение представляет собой упорядоченное множество кодов функций

$$\mathbf{S} = (\mathbf{s}^1, \dots, \mathbf{s}^K). \quad (9)$$

где $\mathbf{s}^i = [s_1^i \ s_2^i]^T$, $i = \overline{1, K}$.

Рассмотрим пример. Пусть имеем математическое выражение

$$y = e^{-ax} \cos(bx + c)$$

и имеем множество функций

$$F_0 = (a, b, c, x), \quad F_1 = (-z, e^z, \cos(z)), \quad F_2 = (z_1 + z_2, z_1 \cdot z_2).$$

Запись математического выражения в кодах имеет вид

$$\mathbf{S} = \left(\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix} \right).$$

На рис. 1 приведен граф вычислений для рассматриваемого математического выражения

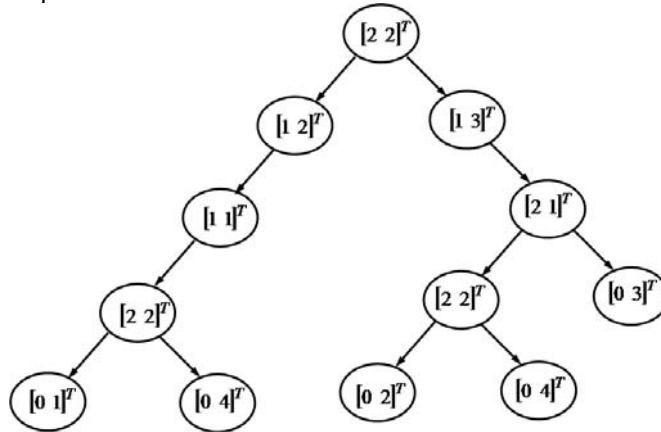


Рис. 1. Граф математического выражения

Для определения правильности кода записи математического выражения используем индекс для символа записи. Индекс $T(j)$ символа \mathbf{s}^j математического выражения (5) указывает на минимальное количество недостающих справа кодов символов.

$$T(j) = 1 - j + \sum_{i=1}^j s_1^i, \quad (10)$$

$$T(j) > 0, j = \overline{1, K-1}, \quad (11)$$

$$T(K) = 0. \quad (12)$$

Для корректной записи кода математического выражения необходимо выполнения условий (11), (12). Заметим, что согласно (10) вставка в код записи в любое место кода функции (9) со значением $s_1 = 1$ не изменяет значение индекса. Поэтому в код записи математического выражения всегда можно вставить или удалить код функции со значением $s_1 = 1$. Код функции со значением $s_1 = 0$ уменьшает индекс элемента. Код функции со значением $s_1 > 1$ увеличивает индекс $T(j)$. Данные свойства мы используем для определения малых вариаций кода записи математического выражения.

Определим следующие малые вариации:

- 0 – изменение значения s_2 без изменения значения s_1 в коде функции;
- 1 – удаление кода элемента со значением $s_1 = 1$;
- 2 – вставка кода функции со значением $s_1 = 1$;
- 3 – увеличение значения s_1 на единицу и добавление в последнюю позицию кода функции со значением $s_1 = 0$;
- 4 – уменьшение значения $s_1 > 0$ на единицу и удаление из кода необходимого для правильной записи символов кодов функций.

Для описания малой вариации используем целочисленный вектор

$$\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ w_3]^T, \quad (13)$$

где w_1 – номер вариации, w_2 – номер элемента, w_3 – значение второй компоненты.

Рассмотрим пример малой вариации. Пусть

$$\mathbf{w} = [1 \ 2 \ 0]^T.$$

В векторе $w_1 = 1$ означает, что, если элемент $w_2 = 2$ описывает код функции с $s_1 = 1$, то он удаляется. При вариации $w_1 = 1$ значение компоненты w_3 не рассматривается.

Применим вариацию к коду рассмотренного выше математического выражения, получаем

$$\mathbf{w} \circ \mathbf{S} = \left(\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix} \right).$$

Код описывает математическое выражение

$$y = -ax \cos(bx + c).$$

В методе аналитического программирования все функции с разным количеством аргументов объединяем в одно упорядоченное множество

$$F = F_0 \cup F_1 \cup \dots \cup F_n. \quad (14)$$

Все функции нумеруем. В качестве кода функции используем ее номер во множестве (14). В результате получаем упорядоченное множество целых чисел

$$C = (c_1, \dots, c_K). \quad (15)$$

где c_i - номер функции в (14), $i = \overline{1, K}$.

Рассмотрим код записи аналитического программирования примера математического выражения $y = e^{-ax} \cos(bx + c)$.

Объединенное множество (14) имеет следующий вид:

$$F = (f_1 = a, f_2 = b, f_3 = c, f_4 = x, f_5(z) = -z,$$

$$f_6(z) = e^z, f_7(z) = \cos(z), f_8(z_1, z_2) = z_1 + z_2, f_9(z_1, z_2) = z_1 \cdot z_2).$$

Для рассматриваемого примера получаем код записи аналитического программирования

$$C = (9, 6, 5, 9, 1, 4, 7, 8, 9, 2, 4, 3).$$

Для описания вариации записи кода аналитического программирования используем целочисленный вектор размерности 2

$$\mathbf{w} = [w_1 \ w_2]^T. \quad (16)$$

где w_1 - номер элемента кода записи (15), w_2 - новое значение элемента.

Если новое значение элемента w_2 указывает на функцию с большим количеством аргументов, чем старое значение, то удаляем из записи необходимое количество элементов. Если новое значение элемента w_2 указывает на функцию с меньшим количеством аргументов, то добавляем в записи необходимое количество номеров функций без аргументов.

Метод сетевого оператора позволяет кодировать математические выражения, которые построены на множествах переменных, параметров и функций с одним или двумя аргументами. Метод позволяет записать математическое выражение в форме ориентированного графа и целочисленной матрицы. Множество функций с одним аргументом или унарных операций должно включать тождественную операцию. Функции с двумя аргументами или бинарные операции должны быть ассоциативны, коммутативны и иметь единичный элемент.

В ориентированном графе дуги связаны с унарными операциями, узлы-источники связаны с переменными и параметрами, остальные узлы связаны с бинарными операциями.

Для рассмотренного примера математического выражения $y = e^{-ax} \cos(bx + c)$ имеем:

- множество переменных $X = \{x\}$;
- множество параметров $Q = \{a, b, c\}$;
- множество унарных операций

$$O_1 = \{f_1(z) = z, f_2(z) = -z, f_3(z) = e^z, f_4(z) = \cos(z)\};$$

- множество бинарных операций

$$O_2 = \{f_0(z_1, z_2) = z_1 + z_2, f_1(z_1, z_2) = z_1 z_2\}.$$

Номера бинарных операций часто специально начинаются с нуля, чтобы номер функции совпадал со значением её единичного элемента. Для операции сложения $f_0(z_1, z_2)$ единичным элементом является ноль. Для операции умножения $f_1(z_1, z_2)$ единичным элементом является единица.

Сетевой оператор для рассматриваемого математического выражения приведен на рис.2. В верхней части узлов указаны их номера

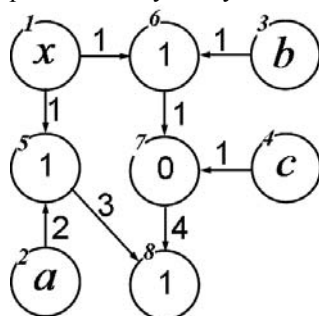


Рис. 2. Граф сетевого оператора математического выражения

Матрица сетевого оператора для рассмотренного математического выражения имеет вид

$$\Psi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В сетевом операторе используем вариации

- 0 – замена номера унарной операции;
- 1 – замена номера бинарной операции;
- 2 – удаление унарной операции;
- 3 – вставка унарной операции.

Для описания вариации используем целочисленный вектор размерности 4.

$$\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4]^T, \quad (17)$$

где w_1 - номер вариации, w_2 - номер строки, w_3 - номер столбца, w_4 - номер унарной или бинарной операции.

Для поиска решения используем генетический алгоритм на основе принципа малых вариаций базисного решения.

Для определения начальной популяции задаем базисное решение в форме кода записи используемой символьной регрессии, метода генетического программирования S^0 , метода аналитического программирования C^0 или метода сетевого оператора Ψ^0 . Затем генерируем случайно упорядоченные множества векторов вариаций

$$\mathbf{W} = \{W_1, \dots, W_H\}. \quad (18)$$

где

$$W_i = (\mathbf{w}^{i,1}, \dots, \mathbf{w}^{i,l}), \quad i = \overline{1, H}. \quad (19)$$

$\mathbf{w}^{i,k}$ - вектор вариации соответствующего метода символьной регрессии, $k = \overline{1, l}$, l - длина вариации или радиус области поиска вокруг базисного решения.

Каждое новое решение получаем с помощью вариаций базисного решения

$$\alpha^i = \mathbf{w}^{i,l} \circ \dots \circ \mathbf{w}^{i,1} \alpha^0, \quad (20)$$

где $\alpha = S \vee C \vee \Psi$ в зависимости от метода символьной регрессии.

Все операции генетического алгоритма выполняем на множествах векторов вариаций. Операция скрещивания двух возможных решений α^i и α^j и получения новых возможных решения α^{H+1} и α^{H+2} имеет вид

$$W_{H+1} = (\mathbf{w}^{i,1}, \dots, \mathbf{w}^{i,k}, \mathbf{w}^{j,k+1}, \dots, \mathbf{w}^{j,l}), \quad (20)$$

$$W_{H+2} = (\mathbf{w}^{j,1}, \dots, \mathbf{w}^{j,k}, \mathbf{w}^{i,k+1}, \dots, \mathbf{w}^{i,l}), \quad (21)$$

где k - точка скрещивания.

Рассмотрим пример решения задачи синтеза оптимального управления. Объект управления описывается следующими дифференциальными уравнениями

$$\dot{x} = u_1 \cos \theta, \quad \dot{y} = u_1 \sin \theta, \quad \dot{\theta} = \frac{u_2}{L} \tan u_2,$$

где x, y, θ - компоненты вектора состояния u_1, u_2 - компоненты вектора управления, L - заданная положительная величина.

Величины компонент вектора управления ограничены

$$u_1^- \leq u_1 \leq u_1^+, \quad u_2^- \leq u_2 \leq u_2^+.$$

Задано множество начальных условий

$$X_0 = \{(x_{0,1}, y_{0,1}, \theta_{0,1}), \dots, (x_{0,k}, y_{0,k}, \theta_{0,k})\}.$$

Заданы терминальные условия

$$x - x_f = 0, \quad y - y_f = 0, \quad \theta - \theta_f = 0.$$

где x_f, y_f, θ_f заданные величины.

Заданы фазовые ограничения в форме логических условий

$$(\alpha_i < x_k) \vee (x_k < \beta_i) \vee (\gamma_i < y_k) \vee (y_k < \delta_i), \quad i = 1, 2, \quad k = 1, 2, 3, 4,$$

где $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$ заданные величины, $\alpha_i > \beta_i, \gamma_i > \delta_i, i = 1, 2$,

$$x_k = x'_k \cos(\theta) - y'_k \sin(\theta), \quad y_k = x'_k \sin(\theta) + y'_k \cos(\theta), \quad k = 1, 2, 3, 4,$$

$$x'_1 = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) + L, \quad y'_1 = -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) + L/2,$$

$$x'_2 = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) - L, \quad y'_2 = -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) + L/2,$$

$$x'_3 = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) - L, \quad y'_3 = -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) - L/2,$$

$$x'_4 = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) - L, \quad y'_4 = -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) - L/2.$$

Задан критерий оптимизации в виде терминального функционала

$$J = t_f \rightarrow \min,$$

где величина t_f определялась из терминальных условий

$$|x(t_f) - x_f| + |y(t_f) - y_f| + |\theta(t_f) - \theta_f| < \varepsilon,$$

ε - заданная малая положительная величина.

В вычислительном эксперименте заданные величины имели следующие значения:

$$L = 4, \quad x^f = 0, \quad y^f = 0, \quad \theta^f = 0,$$

$$X_0 = \{(-8, -4, 0), (8, -4, 0), (-8, 4, 0), (8, 4, 0)\}, \quad u_1^- = -5, \quad u_1^+ = 5, \quad u_2^- = -1,$$

$$u_2^+ = 1, \quad \alpha_1 = -5, \quad \beta_1 = -20, \quad \gamma_1 = 2, \quad \delta_1 = -2, \quad \alpha_2 = 20, \quad \beta_2 = 5, \quad \gamma_2 = 2,$$

$$\delta_2 = -2, \quad \varepsilon = 0,01.$$

Методом вариационного генетического программирования было получено следующее решение:

$$u_i = \begin{cases} u_i^-, & \text{если } \tilde{u}_i \leq u_i^- \\ u_i^+, & \text{если } \tilde{u}_i \geq u_i^-, \quad i = 1, 2, \\ \tilde{u}_i & \text{иначе} \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= -\operatorname{sgn}(x)q_1, \\ \tilde{u}_2 &= f_{3,1} \left(\frac{1}{\arctan(\Delta_y) - \arctan^3(\Delta_y)}, \min\{0, \operatorname{sgn}(\Delta_y)\}, q_1 \right) \operatorname{sgn}(R) \sqrt{|R|} \\ R &= f_{3,2} \left(\mathfrak{G}(\min\{q_2, \Delta_\theta\}), \operatorname{sgn}(\Delta_\theta) \sqrt{|\mu(\Delta_\theta)|} + \Delta_\theta, P \right), \\ P &= f_{3,3} \left(\Delta_\theta, q_3, \mathfrak{G}(\max\{q_4, \Delta_x^2\} + q_1) \right), \\ f_{3,2}(z_1, z_2, z_3) &= \begin{cases} z_2, & \text{если } z_1 \leq 0 \\ z_3 & \text{иначе} \end{cases}, \quad f_{3,1}(z_1, z_2, z_3) = \begin{cases} z_3, & \text{если } z_1 \leq z_2 \\ -z_3 & \text{иначе} \end{cases}, \\ f_{3,3}(z_1, z_2, z_3) &= \begin{cases} z_2 - z_1, & \text{если } |z_1 - z_2| < |z_1 - z_3| \\ z_3 - z_1 & \text{иначе} \end{cases}, \quad \mathfrak{G}(z) = \begin{cases} 1, & \text{если } z > 0 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}, \\ \mu(z) &= \begin{cases} z, & \text{если } |z| < 1 \\ \operatorname{sgn}(z) & \text{иначе} \end{cases}, \quad q_1 = 15,32080, \quad q_2 = 13,61694, \quad q_3 = 1,5159, \\ q_4 &= 2,80127, \quad \Delta_x = x_f - x, \quad \Delta_y = y_f - y, \quad \Delta_\theta = \theta_f - \theta. \end{aligned}$$

При кодировании методом сетевого оператора было получено следующее решение:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= \Delta_x q_3^3 e^{q_2} + \mu(\Delta_x q_3^3 e^{q_2}) + \ln(q_1 + 1), \\ \tilde{u}_2 &= e^{q_1 \Delta_x} q_2 \Delta_y (e^{q_1} - 1) + \frac{1 - e^{-A}}{1 + e^{-A}}, \end{aligned}$$

$$A = e^{q_1 \Delta_x} q_2 \Delta_y (e^{q_1} - 1), \quad q_1 = 1,55225, \quad q_2 = 14,27222, \quad q_3 = 8,61670.$$

Методом вариационного аналитического программирования было получено следующее решение

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= \operatorname{sgn} B \left(e^{|B|} - 1 \right), \\ \tilde{u}_2 &= \frac{1 - e^{-C}}{1 + e^{-C} \arctan(\operatorname{sgn} \Delta_y \ln(|\Delta_1| + 1))}, \end{aligned}$$

где

$$B = \operatorname{sgn}(\Delta_x) + \operatorname{sgn} \frac{1 - e^{-\Delta_x}}{1 - e^{-\Delta_x}}, \quad C = \arctan(\operatorname{sgn}(D) \ln(|D| + 1)),$$

$$D = \max \left\{ \left| \arctan \left(\operatorname{sgn}(\Delta_y) \left(e^{|\Delta_y|} - 1 \right) \right) \right|, |\Delta_y|, q_1 \right\}, \quad q_1 = 0,74951.$$

Оптимальные траектории движения геометрического центра объекта из четырех заданных начальных условий при полученных управлениях представлены на рис. 3, 4, 5. Там же приведены фазовые ограничения.

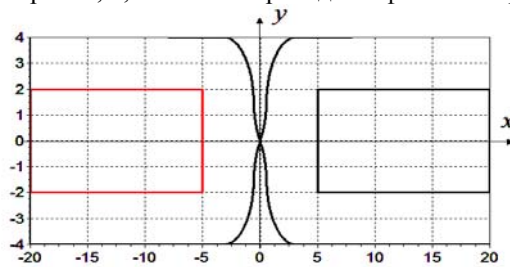


Рис. 3. Оптимальные траектории движения, полученные методом вариационного генетического программирования

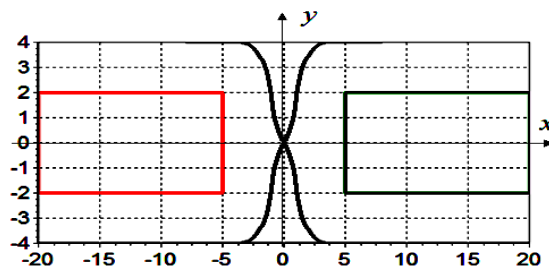


Рис. 4. Оптимальные траектории движения, полученные методом сетевого оператора

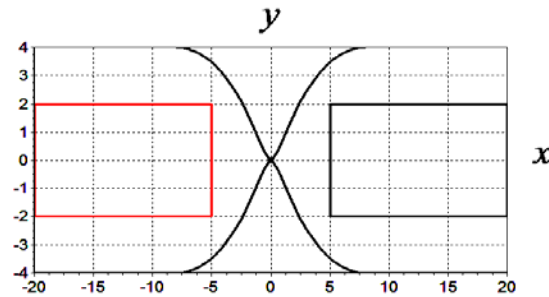


Рис. 5. Оптимальные траектории движения, полученные методом вариационного аналитического программирования

Как видно из рисунков оптимальные траектории объекта, полученные различными методами, практически совпадают. В процессе движения по оптимальной траектории объект не нарушает заданных фазовых ограничений.

Работа выполнена по грантам РФФИ №13-08-00523-а и №14-08-00008-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М., СПб: Издательский дом Вильямс. 2003. 288 с.
- [2] Википедия. Url: <http://www.machinelearning.ru/wiki/>
- [3] Koza J.R. Genetic Programming: On the programming of computers by means of natural selection. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. – 1992. – 819 p.
- [4] Ryan C., Collins J.J., O’Neil M. Grammatical evolution: Evolving programs for an arbitrary language // EuroGP. 1998: LNCS. – Vol. 1391. – P. 83–95.
- [5] Zelinka I., Nolle L., Oplatkova Z. Analytic Programming —Symbilic Regression by Means of Arbitrary Evolutionary Algorithms //Journal of Simulation. – 2012. – Vol. 6, – No 9. – P. 44–56.
- [6] Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. М.: РУДН. – 2012. – 182 с.
- [7] Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 63–78.
- [8] Diveev A.I., Sofronova E.A. The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation // Chapter in the book Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications; Edited by Shangce Gao –. Intech, 2012. – February. – Croatia. – P. 19–42.
- [9] Дивеев А.И., Ибадулла С.И., Софронова Е.А. Решение задачи синтеза системы управления методом вариационного генетического программирования // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-11697>.
- [10] Дивеев А.И., Конырбаев Н.Б. Применение метода вариационного аналитического программирования для синтеза управления летающим роботом // Фундаментальный исследования. 2015, № 3 С. 51-57

Секция – 1
Статика и динамика в строительных расчетах

**ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НА ЗАДАННЫХ
ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫХ И ТРЕУГОЛЬНЫХ ПЛАНАХ**

В.Н. Иванов, д.т.н.

Российский университет дружбы народов
117198, Москва, ул. Миклуcho-Маклая, 6

Тонкостенные пространственные конструкции позволяют создавать современные формы общественных, спортивных и промышленных зданий и сооружений. Оболочки созданные на основе линейчатых поверхностей являются наиболее конструктивно удобными для их воспроизведения на строительной площадке. В статье рассматриваются линейчатые поверхности построенные на двух произвольных заданных опорных кривых

Ключевые слова: опорные кривые, опорные точки, линейчатые поверхности, параметризация кривых.

Примерами поверхностей, построенных на двух опорных кривых, являются торсовые поверхности, являющихся огибающими семейства плоскостей, катящимися по двум заданным кривым. [1,2]. Поверхности Каталана образуются движением прямолинейной образующей, которая при движении остается параллельной одной плоскости (плоскости параллелизма). Цилиндроид - поверхность Каталаны, образуемая движением образующей прямой движущейся по двум образующим кривым параллельно общей плоскости (плоскости параллелизма). Коноид - цилиндрическая поверхность, образующие кривые которой пересекают фиксированную прямую (ось коноида). Коноиды - линейчатые поверхности на прямоугольных планах.

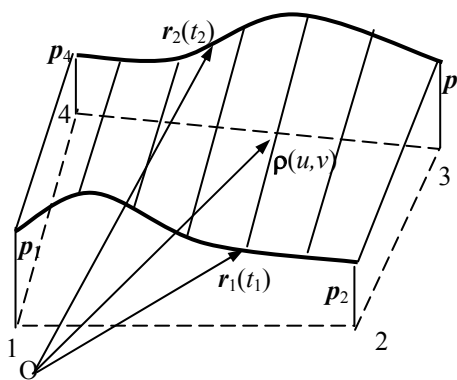


Рис. 1. Линейчатая поверхность на опорных кривых

Рассмотрим линейчатые поверхности, образуемые движением прямой линии по двум направляющим кривым, ограниченных опорными точками четырехугольного плана.

Пусть заданы угловые точки четырехугольного плана, на двух противоположных сторонах которого заданы опорные кривые. Линейчатую поверхность образуем равномерным (пропорциональным) движением прямой образующей по заданным опорным кривым (рис. 1). Предельные положения образующих кривых проходят через начальные и конечные точки опорных кривых (угловые точки четырехугольного плана).

Зададим векторные уравнения опорных линий

$$r_i(t_i), t_{iH} \leq t_i \leq t_{iK} \quad i=1,2$$

$$\text{При этом } r_1(t_{1H}) = p_1; \quad p_1(t_{1K}) = p_2; \quad r_2(t_{2H}) = p_4, \quad r_2(t_{2K}) = p_3;$$

где p_i ($i = 1, 2, 3, 4$) - векторы угловых точек контура.

Введем координатный параметр опорных кривых u , устанавливающий однозначную связь точек опорных кривых:

$$u_i = t_i(u) = t_{iH}(1-u) + t_{iK}u, \quad i = 1, 2; \quad u = 0 \div 1 \quad (1)$$

Уравнение линейчатой поверхности на заданных опорных кривых (в пределах заданного четырехугольного контура) получим в виде

$$p(u, v) = r_1(u_1)(1-v) + r_2(u_2)v, \quad v = 0 \div 1. \quad (2)$$

Уравнение (2) справедливо как для плоских, в том числе наклонных, так и для пространственных опорных кривых.

Если координаты в плоскости двух соседних точек опорных кривых совмещать, то будем получать линейчатые поверхности на треугольном плане.

На рис. 2 приведены линейчатые поверхности с опорными кривыми: 1- парабола $z = a - bx^2$; $a=1$; $b=0,5$; 2 - синусоида с 5-ю полуволнами $z = d \sin ct$; амплитуда синусоиды $d=0,25$; $c=2\pi$; $t = (-0,5 \div 2)$. Опорные точки параболы: 1- $(x,y)=(-1,5;0)$; 2 - $(x,y)=(1,5;0)$ (кроме рис. 2,з,л). Опорные точки синусоиды (3, 4) различны на рис. 2,а÷м.

a - поверхность на симметричном трапециевидном плане: т. 3 - $(x,y)=(-2,5; 3)$; т.4 - $(x,y)=(2,5; 3)$.

б - опорные точки синусоиды поменялись местами: т. 3 - $(x,y)=(2,5; 3)$; т.4 - $(x,y)=(-2,5; 3)$.

в - поверхность на симметричном трапециевидном плане: т. 3 - $(x,y)=(-2,5; 3)$; т.4 - $(x,y)=(2,5; 3)$ с наклонной опорной параболой $\varphi = \pi / 6$.

г - поверхность на несимметричном трапециевидном плане: т. 3 - $(x,y)=(1,0; 3)$; т.4 - $(x,y)=(1,5; 3)$.

д - поверхность на прямоугольном плане: т. 3 - $(x,y)=(-1,5; 3)$; т.4 - $(x,y)=(5,5; 3)$.

e - поверхность на прямоугольном плане т. 3 - $(x,y)=(-1,5; 3)$; т.4 - $(x,y)=(5,5; 3)$. Амплитуда синусоиды $d=0$ - опорная синусоида трансформируется в прямую линию Поверхность - параболический коноид.

На рис. 2, *ж-м* - линейчатые поверхности на треугольных планах.

ж, з - совмещены опорные точки синусоиды, опорная кривая вырождается в вертикальную линию. На рис. 2,з амплитуда синусоиды $d=0$ - опорная кривая вырождается в точку, получаем параболическую коническую поверхность.

e - поверхность на прямоугольном плане т. 3 - $(x,y)=(-1,5; 3)$; т.4 - $(x,y)=(5,5; 3)$. Амплитуда синусоиды $d=0$ - опорная синусоида трансформируется в прямую линию Поверхность - параболический коноид.

На рис. 2, *ж-м* - линейчатые поверхности на треугольных планах.

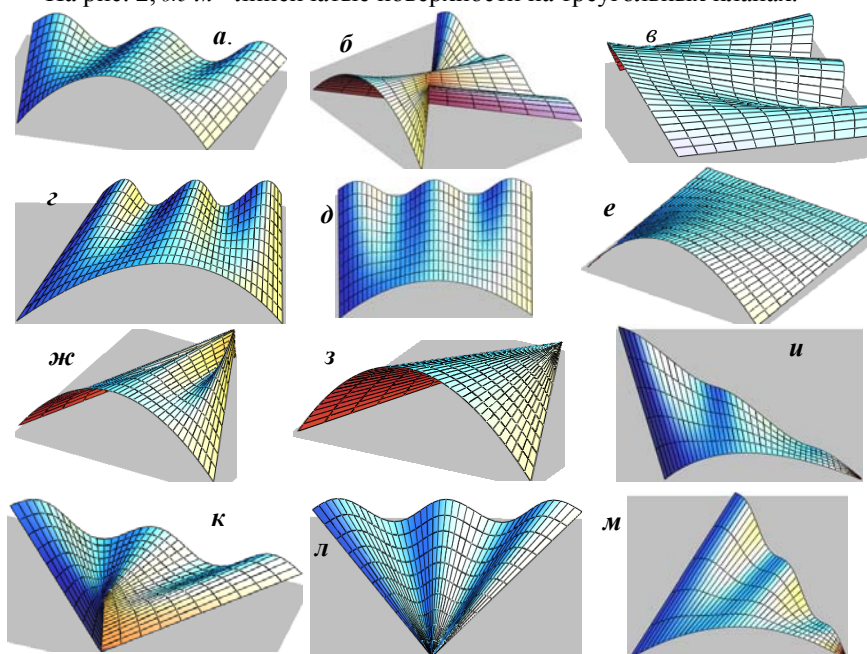


Рис. 2. Линейчатые поверхности с направляющими параболой и синусоидой

ж, з - совмещены опорные точки синусоиды, опорная кривая вырождается в вертикальную линию. На рис. 2,з амплитуда синусоиды $d=0$ - опорная кривая вырождается в точку, получаем параболическую коническую поверхность.

и - 3-я опорная точка совмещена со 2-й точкой т.2, 3 $(x,y)=(1,5;0)$.

к, л - опорные точки параболы совмещены - т.1, 2 $(x,y)=(0;0)$.

l - параметр параболы, $a=0$ - синусоидальная коническая поверхность.
 l - 3-я опорная точка синусоиды совмещена со 2-й опорной точкой параболы, 4-я опорная точка синусоиды т.4 $(x,y)=(0;3)$.

На рис. 3 приведены примеры линейчатых поверхностей с направляющими полуэллипсом (полуоси $a=1,5$; $b=1$) и синусоидой (семь полу-волн, амплитуда $c=0,25$) на трапециевидном плане (основания 3 и 5, высота 2,5)

a - опорные кривые в вертикальной плоскости;
 z - опорные кривые с наклоном 30° от вертикали;
 $б, д$ - опорная парабола в горизонтальной плоскости с отклонением во внешнюю и внутреннюю стороны трапеции;
 $в, е$ - опорная синусоида в горизонтальной плоскости с отклонением во внешнюю и внутреннюю стороны трапеции;
 $жс, з, и$ - 3-я точки плана перенесены во 2-ю точку - треугольный план.; $жс$ - опорные кривые в вертикальной плоскости; $з$ - опорная парабола в горизонтальной плоскости; $и$ - опорная синусоида в горизонтальной плоскости.

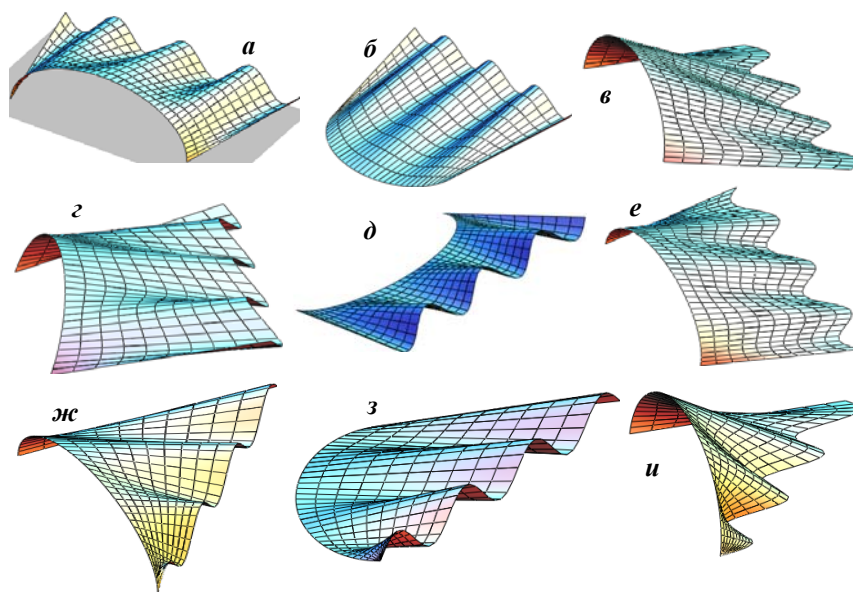


Рис. 3. Линейчатые поверхности с направляющими полуэллипсом и синусоидой

На рис. 4 представлены линейчатые поверхности с направляющими эллипсом с полуосями $(a=1,5$; $b=1)$, $-0,5\pi \leq \varphi \leq 1,5\pi$ и параболой

$z = at^2$, $-1,5 \leq t \leq 1,5$. Расстояние между опорными кривыми (высота трапеции) $h = 4,5$. пределы изменения параметра эллипса $-0,5\pi \leq \varphi \leq 1,5\pi$ обеспечивают симметричное прохождение образующей прямой опорного эллипса и параболы. В верхнем ряду рис. 4 большая ось эллипса горизонтальна, в нижнем ряду вертикальна.

a, z - опорные эллипс и парабола в вертикальной плоскости, вершина параболы : a - сверху, b - снизу;

b, d - парабола в горизонтальной плоскости с вершиной параболы: a - с внутренней стороны плана, с наружной стороны;

v, e - Эллипс в горизонтальной плоскости, парабола в вертикальной.

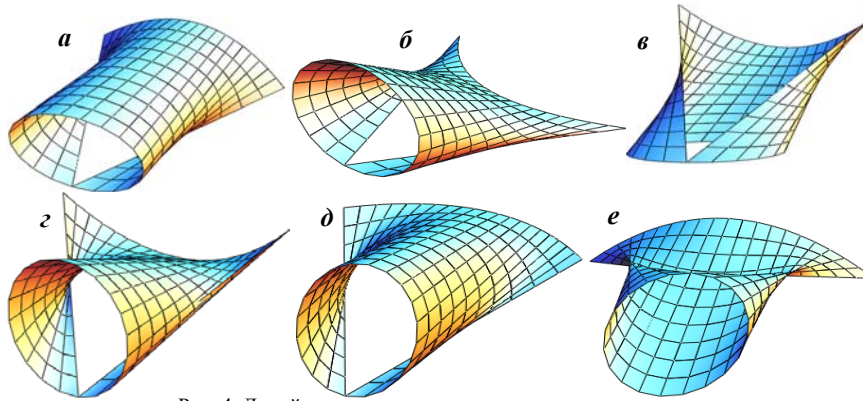


Рис. 4. Линейчатые поверхности с направляющими эллипсом и параболой

Рассмотрим эллипсоидальные линейчатые поверхности - обе опорные кривые эллипса: $x_1 = a_1 \cos u$; $y_1 = b_1 \sin u$; $x_2 = a_2 \cos(u + u_0)$; $y_2 = b_2 \sin(u + u_0)$, $0 \leq u \leq 2\pi$. Полуоси 1-го опорного эллипса принимаем $a=1$, $a=0,75$ располагаем его в горизонтальной плоскости. Параметры 1-го опорного эллипса принимаем неизменными. Начало 2-го смещаем в вертикальной плоскости на расстояние $z_0 = 5$. Параметры 2-го опорного эллипса могут меняться, или может вращаться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Очевидно, если $a_2 = a_1$, $b_2 = b_1$, $u_0 = 0$ и плоскости опорных эллипсов параллельны, если начало координат 2-го эллипса смещено в параллельной плоскости, получим наклонный эллиптический цилиндр. При $u_0 = 0$ получим эллиптический гиперболоид. Если полуоси 2-го опорного эллипса принять равными нулю, получаем эллиптический конус. Если одну из полуосей 2-го опорного эллипса принять равной нулю и $u_0 = 0$ получаем эллиптический коноид.

Эллипсоидальные линейчатые поверхности представлены на рис. 5.
a - полуоси обоих эллипсов равны, $u_0 = \pi/2$ - эллиптический гипер-
 болоид.

б-д - полуоси верхнего опорного эллипса равны 2/3 полуосей нижнего
 опорного эллипса. *б* - $u_0 = \pi/2$ - эллиптический гипер-
 болоид.

в - $u_0 = \pi$ - поверхность вырождается в двухполостный конус.

в - $u_0 = \pi/2$, верхний опорный эллипс повернут в горизонтальной
 плоскости на угол 90° .

в - $u_0 = \pi/2$, верхний опорный эллипс повернут в вертикальной
 плоскости на угол 30° .

е-з - $a_2=0$; *е* - $u_0 = 0$ - поверхность - эллиптический коноид;

жс - $u_0 = \pi/2$; *з* - $u_0 = \pi$.

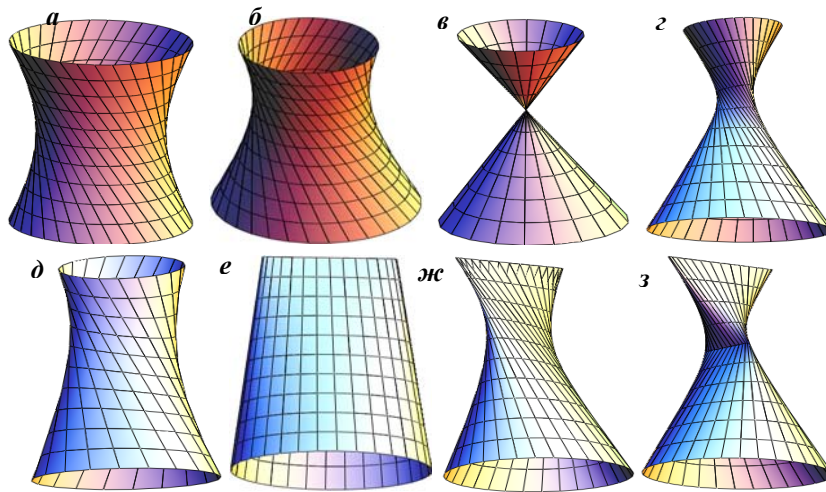


Рис. 5. Эллипсоидальные линейчатые поверхности

На рис 5, *е-з* при использовании уравнения эллипса образующая пря-
 мая дважды проходит по отрезку прямой линии. Если использо-
 вать уравнение отрезка прямой, то получим поверхности с треугольным
 разрывом, аналогичные поверхностям на рис. 4.

Приведенные примеры показывают возможность создания разнооб-
 разных форм на основе линейчатых поверхностей, построенных на базе
 двух опорных кривых. При этом получаем поверхности на четырехуголь-
 ных планах с двумя прямолинейными и двумя криволинейными сторо-

нами. Совмещая опорные точки, получаем линейчатые поверхности на треугольных и двухугольных (с криволинейными сторонами) планах.

На основе линейчатых поверхностей на опорных кривых строятся поверхности Кунса. Поверхности Кунса получаются суммированием двух линейчатых поверхностей с общими опорными точками на четырех и треугольных планах [3].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «Либроком», 2010. – 560 с.
- [2] Кривошапко С.Н. Геометрия и прочность торсовых оболочек. - М.: Изд-во АСВ, 1995. 276 с.
- [3] Иванов В.Н. Архитектурные композиции на основе поверхностей Кунса. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2007. – № 4. – С. 5-10.

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБРАЗЦОВ С СИСТЕМОЙ ЦАРАПИН

С.Н. Якупов, *к.т.н.*

Н.М. Якупов, *д.т.н.*

Лаборатория нелинейной механики оболочек ИММ КазНЦ РАН
ул. Лобачевского 2/31, г. Казань, РФ, 420111

На базе двумерного экспериментально - теоретического метода исследования предложены модели изменения жесткостных свойств тонкостенных элементов с царапинами в зависимости от их плотности и глубины. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: тонкостенный элемент, царапина, глубина тангенциальная жесткость на растяжение – сжатие, жесткость на изгиб, эксперимент, модель

Наличие различных локальных дефектов в элементах конструкций приводит к концентрации напряжений в этой области, что является предвестником разрушения. Известны работы по исследованию концентрации напряжений для вала с галтелью и с кольцевой выточкой, для пластины с отверстием и др. [1-3]. Влияние поверхностных дефектов на концентрацию напряжений тонкостенных элементов мало изучено. Известен подход измерения твердости материала методом нанесения царапин [4]. При определении жесткостных свойств стандартным одноосным испытанием полос, вырезанных из тонкостенных элементов с

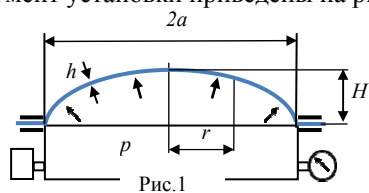
различными дефектами и повреждениями, наблюдается большой разброс результатов. Об ограничениях способа одноосного испытания на растяжение образцов отмечается в стандарте [5]. Метод «индентора» [6] позволяет оценить твердость материала только в окрестности рассматриваемой точки и не позволяет оценивать жесткостные свойства тонкостенных элементов со сложным рельефом в целом. Возникают трудности также при численном моделировании тонкостенных элементов с различными дефектами и повреждениями. Оценка концентрации напряжений в области локальных углублений трехмерными конечными элементами в тонкостенных цилиндрических оболочках рассмотрена в статье [7], а в сферических оболочках – [8].

Исследования концентрации напряжений в области поверхностных механических дефектов типа царапин в тонкостенных элементах конструкций встречаются редко. Влияние дефектов типа царапин и вмятин на изменение модуля упругости нагруженных тонкостенных элементов конструкций в агрессивной среде рассмотрено в статье [9].

Поверхностные царапины, являясь концентраторами напряжений, могут привести к существенному снижению жесткостных свойств элементов и тем самым снизить несущую способность конструкции в целом. Представляет интерес исследование по изучению влияния царапин на жесткостные свойства тонкостенных элементов. Описать дефекты типа царапин при численных расчетах затруднительно. Поэтому для таких участков тонкостенных элементов нужно уметь определять интегральные жесткостные характеристики.

В данной работе на базе двумерного экспериментально - теоретического метода исследования предложены модели изменения жесткостных свойств тонкостенных элементов с царапинами в зависимости от их плотности и глубины. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Методика исследования. Для анализа жесткостных свойств тонкостенных образцов с царапинами развит экспериментально-теоретический подход [10-12], создана установка ДМ-1. Схема и фрагмент установки приведены на рис.1 и 2.



Круглые тонкостенные образцы 1 с царапинами крепятся на установке по контуру (рис.1) и нагружаются давлением воздуха p . В процессе увеличения давления p производится мониторинг формы купола, в частности, измеряется высота подъема вершины купола H (рис.1,2). Замеры производятся с использованием цифровых индикаторов 6 (ИЦ-50) и манометров 5 (ДМ-5001). Строится график «давление p - прогиб H ». Используя соотношения нелинейной теории оболочек, определяются тангенциальная B и изгибная D жесткости тонкостенных элементов с царапинами.

Для упругой мембраны в случае среднего изгиба, когда прогиб не превышает 2 – 3 толщин образца, соотношения между деформациями, согласно [13] можно взять в форме

$$\varepsilon_1 = e_1 + \frac{1}{2}\omega^2, \quad \varepsilon_2 = e_2, \quad \kappa_1 = -\frac{dw}{dr}, \quad \kappa_2 = -\frac{\omega}{r}, \quad e_1 = \frac{du}{dr}, \quad e_2 = \frac{u}{r}, \quad \omega = \frac{dw}{dr}, \quad (1)$$

где u и w – радиальное перемещение и прогиб срединной поверхности мембраны. Для этого случая в [14] приведена зависимость между прогибом в центре мембраны H и давлением p , используя которую можно вычислить приведенную тангенциальную жесткость на растяжение - сжатие B и приведенную жесткость на изгиб D по формулам:

$$B = 0,3037 pa \left(\frac{a}{H} \right)^3, \quad D = 0,0253 p \frac{a^4 h^2}{H^3}, \quad (2)$$

где p – равномерно распределенное давление; a – радиус мембраны; h и H – толщина мембраны и ее прогиб в центре (высота подъема купола).

Результаты исследований. С целью изучения влияния поверхностных царапин на изменение жесткостных свойств тонкостенных элементов были рассмотрены образцы из стали Ст.3 радиусом $R = 50$ мм с радиусом рабочей части $a = 40$ мм (по рис.1) и толщиной $h = 0,6$ мм. На поверхность образцов были нанесены царапины (бороздки) с шагом $b = 2,5$ мм; 5 мм; 10 мм и 20 мм или относительным к характерному размеру шагом царапин $b_{от} = b / 2a$: 0,03125; 0,0625; 0,125; 0,25. В зависимости от глубины царапин t (относительной глубины $t_{от} = t / h$) рассмотрены три группы образцов: первая группа – глубина царапин $t = 0,05$ мм ($t_{от} = 0,0833$); вторая группа – $t = 0,1$ мм ($t_{от} = 0,1667$); третья группа – $t = 0,2$ мм ($t_{от} = 0,3333$). Изображения образцов третьей группы до испытаний приведены на рис.3.

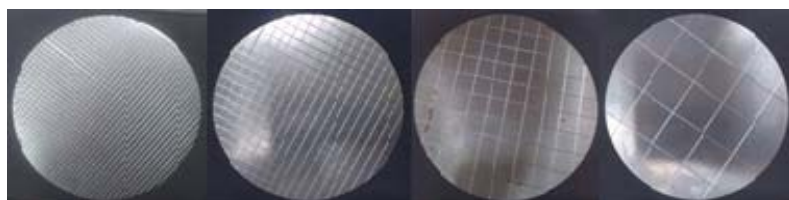


Рис.3

На рис.4 представлены изображения поперечного сечения образцов при $b = 2,5$ мм для $t = 0,1$ мм и $0,2$ мм при 10-кратном увеличении.

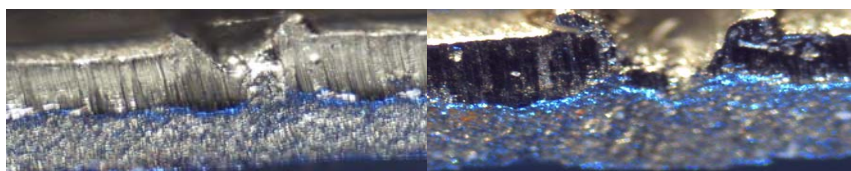


Рис.4

Из рис. 4 видно, что: поверхность образцов имеет сложный рельеф; на поверхностях царапин вдоль канавок образуются пластически деформированные области; на поверхности образцов вдоль царапин образуются бортики (заусенцы). Описать все эти образования практически невозможно, поэтому использование экспериментально - теоретического метода в двумерной постановке является наиболее эффективным подходом.

Далее приведены полученные результаты. До значения давлений менее $p = 0,8$ МПа наблюдается упругая деформация, поэтому для анализа использованы формулы (2) рассмотрены экспериментальные данные при $p = 0,04$ МПа.

В таблице 1 приведены прогибы образцов в зависимости от относительного шага царапин $b_{от}$ и относительной глубины $t_{от}$ борозд.

Таблица 1

Прогиб образцов H , мм при давлении $p = 0,04$ МПа				
Относительная глубина борозд $t_{от}$ (t , мм)	Относительный шаг борозд $b_{от}$ (b мм)			
	0,03125 (2,5 мм)	0,0625 (5 мм)	0,125 (10 мм)	0,25 (20 мм)
Без борозд	0,59			
0,0833 (0,05)	0,78	0,70	0,65	0,60
0,1667 (0,10)	1,11	0,79	0,78	0,61
0,3333 (0,20)	1,55	1,00	0,92	0,63

По экспериментальным данным вычислена: приведенная тангенциальная жесткость на растяжение - сжатие **B** (табл. 2) и приведенная жесткость на изгиб **D** (табл. 3) по формулам (2) для рассмотренных групп образцов.

Таблица 2

Приведенная жесткость образцов на растяжение-сжатие B , кг/см				
	Относительный шаг борозд b_{ot} (b мм)			
Относительная глубина борозд t_{ot} (t , мм)	0,03125 (2.5 мм)	0,0625 (5 мм)	0,125 (10 мм)	0,25 (20 мм)
0,0833 (0,05)	63871,48	88368,51	110370,13	140326,06
0,1667 (0,10)	22162,70	61476,65	63871,48	133537,17
0,3333 (0,20)	8139,48	30310,40	38925,96	121218,80
Без борозд	147582,76			

Таблица 3

Приведенная жесткость образцов на изгиб D , кг/см				
	Образцы с бороздами с относительным шагом b_{ot} (b мм)			
Относительная глубина борозд t_{ot} (t , мм)	0,03125 (2.5 мм)	0,0625 (5 мм)	0,125 (10 мм)	0,25 (20 мм)
0,0833 (0,05)	229,94	318,13	397,33	505,17
0,1667 (0,10)	79,79	221,32	229,94	480,73
0,3333 (0,20)	29,30	109,12	140,13	436,38
Без борозд	531,30			

На базе данных таблиц 2 и 3, а также используя способ наименьших квадратов [15], построены модели изменения приведенной тангенциальной жесткости образцов **B** и приведенной жесткости на изгиб **D** для тонкостенных элементов с царапинами в зависимости от их плотности b_{ot} и глубины t_{ot} :

$$B=10^4(k_{00}^b b_{ot}^0 + k_{01}^b b_{ot}^1 + k_{02}^b b_{ot}^2 + k_{10}^b t_{ot}^0 + k_{11}^b t_{ot}^1 + k_{12}^b t_{ot}^2 + k_{20}^b b_{ot}^0 + k_{21}^b b_{ot}^1 + k_{22}^b b_{ot}^2) \quad (3)$$

$$D=10^3(k_{00}^d t_{ot}^0 + k_{01}^d t_{ot}^1 + k_{02}^d t_{ot}^2 + k_{10}^d b_{ot}^0 + k_{11}^d b_{ot}^1 + k_{12}^d b_{ot}^2 + k_{20}^d t_{ot}^0 + k_{21}^d t_{ot}^1 + k_{22}^d t_{ot}^2) \quad (4)$$

Коэффициенты k_{ij}^b и k_{ij}^d , входящие в соотношения (3) и (4), приведены в таблицах 4 и 5, соответственно; индексы $i, j = 0, 1, 2$.

Таблица 4

k_{00}^b	k_{01}^b	k_{02}^b	k_{10}^b	k_{11}^b	k_{12}^b	k_{20}^b	k_{21}^b	k_{22}^b
8.8	107.4	-331.5	-58.5	-522.9	2846.2	104.7	700.4	-4340.6

Таблица 5

k_{00}^d	k_{01}^d	k_{02}^d	k_{10}^d	k_{11}^d	k_{12}^d	k_{20}^d	k_{21}^d	k_{22}^d
0.31	3.90	-12.02	-2.09	-19.09	103.25	3.73	25.82	-158.02

Выводы:

1. На базе развитого экспериментально - теоретического метода построены модели изменения тангенциальной жесткости и изгибной жесткости тонкостенных элементов конструкций в зависимости от относительной плотности $b_{от}$ и относительной глубины царапин $t_{от}$.

2. Установлено, что поверхностные царапины, являясь концентраторами напряжений, приводят к снижению тангенциальной и изгибной жесткости тонкостенных элементов конструкций.

3. Начиная с относительной глубины борозд более $t_{от} = 0,167$ и относительной плотности менее $b_{от} = 0,063$, наблюдается существенное снижение как тангенциальной, так и изгибной жесткости образцов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Neuber H. Theory of Notch Stress. Ann Arbor, Mich.: J.W. Edwards, 1946.
- [2] Peterson R.E. Stress Concentration Factors. New York: J. Wiley & Sans, 1974.
- [3] Collins J.A. Failure of Materials in Mechanical Design. Analysis, Prediction, Prevention. The Ohio State University. New York: J. Wiley & Sans, 1981.
- [4] Львова Н.А., Кравчук К.С., Широков И.А. // Физика тв. тела. 2013. Т.55, в.8, С.1570-1577.
- [5] ASTM D 412-41.
- [6] Oliver W., Pharr G. J. Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 473, 57 (1997).
- [7] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М. и др. // Газовая промышленность. №7, 2013. С.28-30.
- [8] Якупов С.Н., Киямов И.Х. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. №2, 2014. С.76-80.
- [9] Якупов Н.М., Нургалиев А.Р. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2008. №3. С.14-18.
- [10] Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тонкослойных материалов. Пат. РФ №2310184 // Бюл. 2007. №31.
- [11] Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. // Зав. лаб. Диагностика материалов, 2008. Т.74. №11. С.54-56.
- [12] Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. // Механика тв. тела. 2011. №3, С. 58-66.
- [13] Муштари Х.М., Галимов К.З. Нелинейная теория упругих оболочек. Казань: Таткнигоиздат, 1957. 431 с.
- [14] Галимов Н.К., Нуруллин Р.Г., Леонтьев А.А. // Актуальные проблемы механики сплошной среды. ИММ КазНЦ РАН. Казань: Изд-во КГУ, 2004. С.129-139.

- [15] Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. 2-е изд. М., 1962.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Л.У. Харисламова, аспирант

С.Н. Якупов, к.т.н.

Лаборатория нелинейной механики оболочек ИММ КазНЦ РАН
ул. Лобачевского 2/31, г. Казань, РФ, 420111

На сегодняшний день широко развито изучение свойств различных композиционных материалов. Это позволит в дальнейшем создавать новые улучшенные материалы для различных областей производства.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований механических свойств тонкостенных полимерных композиционных материалов. Изучено влияние ультрафиолетового излучения на полимерные композиции.

Ключевые слова: тонкостенный элемент, полимерные композиционные материалы, экспериментальный метод, влияние ультрафиолетового излучения.

Композиционными называются материалы, образованные объемным сочетанием двух или большего числа химически разнородных компонентов с четкой границей между ними [1-4].

В данной работе исследованы композиции: ткани, ламинированные пленкой. Между двумя слоями полимерной пленки был помещен один слой ткани. Таким образом, была получена композиция «полимерная пленка + ткань + полимерная пленка» и выполнены экспериментальные исследования по изучению механических характеристик таких композиций двумерным экспериментально - теоретическим методом [5-9].

Современные пленки для ламинирования производятся на основе трех видов полимеров: поливинилхлорида (ПВХ или PVC – в английском варианте), полипропилена ПП (PP) и полиэстера (научное название – полиэтилентерефталат – PET).

Большая же часть пленок (около 95% объемов производства) создается на основе полиэстера (PET) – материала, обладающего высокой прозрачностью и упругостью. В отличие от ПВХ и ПП полиэстер – это экологически чистый, высокоустойчивый к воздействию внешней среды, а также легко поддающийся вторичной переработке материал. Сфера его применения огромна: упаковочные пленки для продуктов, бутылки для прохладительных напитков, аудио- и видеопленки и многое другое.

В работе исследованы ламинированные пленки на основе полиэстера. Любая пленка на основе полиэстера является многослойной и содержит, как правило, три слоя (для очень тонких пленок 25-42 мк. – 2слоя):

- слой полиэстера, служащего основой и придающего пленке жесткость и упругость;
- слой полиэтилена (PE), служащего связующим звеном и своеобразной “подушкой” при ламинировании;
- слой полимерного “клея” – низкоплавкого (95-120⁰С) полимера, обладающего особыми адгезивными свойствами.

В качестве ткани для образцов была взята ткань мадаполам (100% хлопок). Мадаполам – это термин, используемый для обозначения одного из видов ткани, характеризующейся специальным плетением и другими особенностями.

Экспериментальные исследования по определению механических характеристик пленочных композиций выполнялись на установке ДМ-1 [5-9] (рис.1,2).



Рис. 1. Образцы до испытаний



Рис. 2. Вид установки во время замера прогиба образца при заданном давлении

Первая часть исследований: Были испытаны образцы: 3 образца не ламинированной ткани; 3 образца – ткань, ламинированная пленкой толщиной 75 мк; 3 образца – ткань, ламинированная пленкой толщиной 100 мк; 2 образца – ткань, ламинированная пленкой толщиной 125 мк. Диаметр образцов составляет 100 мм.

Образцы испытывались регулируемым давлением, с использованием подложки (пищевая пленка). Перемещения от приложенной нагрузки определяли цифровым индикатором ИЦ-50 с точностью 0.001 мм, а давление цифровым манометром ДМ-5001 с погрешностью $\pm 1\%$.

По полученным результатам испытаний построены графики зависимости прогиба образцов от давления (рис.3).

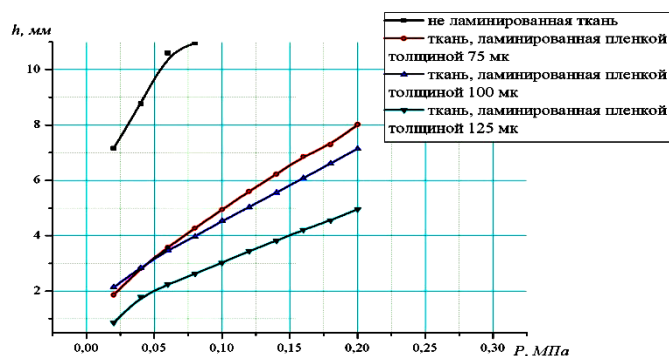


Рис.3. Зависимости «давление - прогиб» для образцов из композиционного материала

Вторая часть исследований: Проведены эксперименты позволяющие определить влияние ультрафиолетового излучения на композицию «полимерная пленка + ткань + полимерная пленка». В качестве ткани использовалась ткань мадаполам двух цветов: черного и белого. Ткань была ламинирована пленкой разных толщин: 75 мк, 100 мк, 125 мк. Образцы были подвергнуты влиянию ультрафиолетового излучения на протяжении 15 дней и 30 дней.

Для облучения образцов ультрафиолетовым излучением использовалась специальная установка (рис.4). Экспериментальная установка размещается на столе 1 и включает в себя каркас 2 для крепления кронштейнов 3, на которые подвешиваются ультрафиолетовые лампы 4. Образцы 5 располагаются на столе прямо под действием непрерывного ультрафиолетового излучения.

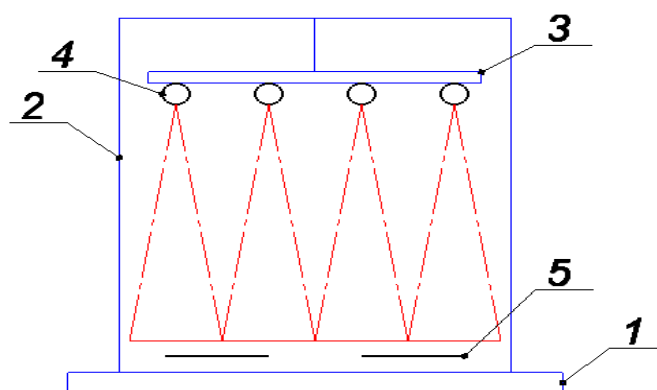


Рис. 4. Схема установки для облучения ультрафиолетовым излучением

Результаты исследований. Далее образцы, подвергнутые воздействию ультрафиолетового излучения, для оценки характеристик жесткости были испытаны на установке ДМ-1. Некоторые результаты (графики «прогиб образцов – давление») представлены на рис.5-7. На каждом графике представлены прогибы для четырех рассмотренных образцов.

Все образцы, представленные на одном графике, ламинированы пленкой одной из толщин (75 мк, 100 мк, 125 мк).

Образец №1 – контрольный образец, который не подвергался ультрафиолетовому излучению.

Образец №2 – образец белого цвета, который находился под влиянием ультрафиолетового излучения в течение 15 дней.

Образец №3 – образец черного цвета, который находился под влиянием ультрафиолетового излучения в течение 15 дней.

Образец №4 – образец черного цвета, который находился под влиянием ультрафиолетового излучения в течение 30 дней.

На рис.5 представлены результаты испытаний ткани, ламинированной полимерной пленкой толщиной 75 мк, на рис.6 – толщиной 100 мк, а на рис.7 – толщиной 125 мк.

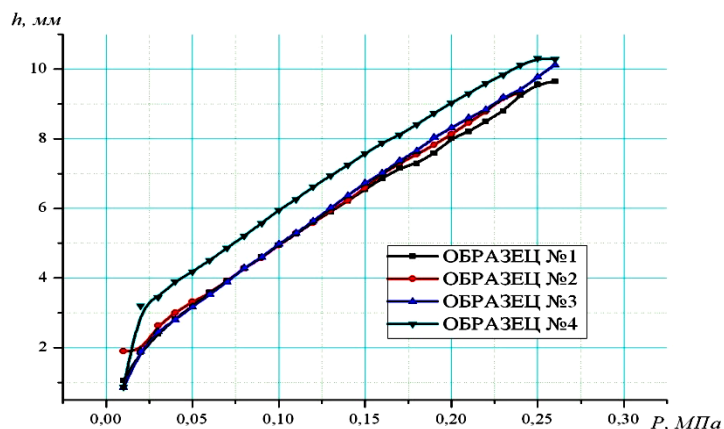


Рис.5. Зависимости «давление - прогиб» для образцов из композиционного материала (толщина пленки 75 мк)

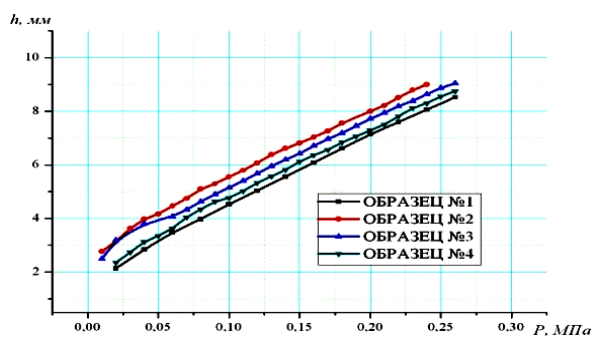


Рис.6. Зависимости «давление - прогиб» для образцов из композиционного материала (толщина пленки 100 мк)

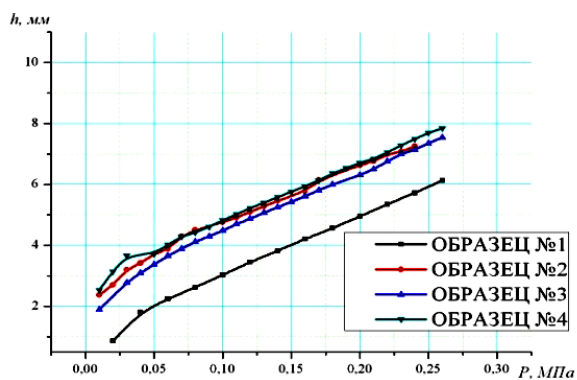


Рис.7. Зависимости «давление - прогиб» для образцов из композиционного материала (толщина пленки 125 мк)

На базе двумерного экспериментально-теоретического метода выполнены исследования механических свойств композиционной структуры «полимерная пленка + ткань + полимерная пленка». Результаты испытаний показали, что наличие полимерной пленки существенно увеличивает характеристики жесткости на растяжение образцов. При этом при увеличении толщины пленки ламинирования прочностные характеристики композиции возрастают.

Изучение влияния ультрафиолетового излучения (УФ) показало, что значительных изменений в характеристиках образцов различного цвета, подверженных влиянию УФ облучения на протяжении 15 и 30 дней замечено не было.

Установлено, что ультрафиолетовое излучение снижает жесткостные характеристики образцов. При этом эффект возрастает с увеличением толщины пленки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Берлин Ал. Ал. Современные композиционные материалы (ПКМ) // Соросовский Образовательный Журнал, №1, 1995. С.57-65
 - [2] Wanggu Kanga, Youngwook Suhb, Kyeongsik Woob, In Lee Mechanical property characterization of film-fabric laminate for stratospheric airship envelope // Composite Structures 75, 2006. P. 151–155
 - [3] Зеленский Э.С., Куперман А. М., Горбаткина Ю.А., Иванова-Мумжиева В.Г., Берлин А.А. Армированные пластики – современные конструкционные материалы // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), т. XLV, № 2, 2001. С.56-74
 - [4] Гуняев Г.М. Структура и свойства полимерных волокнистых композитов. М.: Химия, 1974.
 - [5] Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тонкослойных материалов. Пат. РФ №2310184 // Бюл. 2007. №31.
 - [6] Якупов Н.М., Якупов С.Н. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. №1. 2009. С.60-70.
 - [7] Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. // МТТ №3, 2011. С.58-66.
 - [8] Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. // Вестник Машиностроения. 2009. №6. С.44-47.
 - [9] Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т.74. №11. С.54-56.
- ний. 2-е изд. М., 1962.

О ПРЕДЕЛЬНЫХ ТОЧКАХ И ТОЧКАХ БИФУРКАЦИИ В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ РАВНОВЕСИЯ УПРУГИХ СИСТЕМ

Г.А. Мануйлов, *к.т.н.*

С.Б. Косицын, *д.т.н.*

М.М. Бегичев, *к.т.н.*

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), Москва, РФ.

В статье рассмотрены некоторые признаки различия критических точек равновесия (предельные точки или точки бифуркации) обсуждаются особенности перемещения точек бифуркации на кривой равновесия, и приводятся примеры возникновения бифуркаций в особых случаях.

Ключевые слова: устойчивость равновесия, бифуркация, предельная точка.

Известно [1], что потеря устойчивости равновесия упругой системы может произойти только в предельных точках или в точках бифуркации. Однако качественно послекритическое поведение системы может быть существенно различным: в предельной точке равновесие неустойчивое, система посредством «хлопка» стремится найти другое устойчивое положение равновесия; то же самое происходит и в точках неустойчивой бифуркации. Это соответствует сценарию потери устойчивости в «большом». Но если точка бифуркации устойчивая (потеря устойчивости в «малом»), то начальное послебифуркационное равновесие устойчивое. Кроме того, система, теряющая устойчивость в точках неустойчивой бифуркации, почти всегда проявляет весьма сильную чувствительность к начальным несовершенствам. Критические нагрузки несовершенной системы определяются в предельных точках, подчиненных соответствующей точке бифуркации идеальной системы (в отличие от существенно предельных точек, не связанных с точкой бифуркации). Наконец, важный момент – влияние типа критической точки на форму области устойчивых сочетаний различных нагрузок в геометрически нелинейных задачах устойчивости (выпуклость или невыпуклость пограничной кривой или поверхности). Наличие хотя бы одной точки бифуркации (остальные критические точки – предельные) в составе точек пограничной поверхности есть необходимый признак невыпуклости области устойчивых сочетаний нагрузок [2]. В случае действия двух нагрузок данное условие оказывается и достаточным условием невыпуклости этой области. С другой стороны, если все точки пограничной поверхности геометрически нелинейной симметричной и симметрично нагруженной системы есть точки бифуркации, то область устойчивых сочетаний нагрузок выпуклая [3]. Фактически это нелинейный аналог теоремы Папковича.

Рассмотрим особенности появления предельных точек и точек бифуркации для системы с одной степенью свободы. Нелинейное уравнение равновесия дифференцируем по координате x приравниваем производную к нулю. Получим производную нагрузки P по координате x в виде дроби

$$F(x, P(x)) = 0; \quad \frac{dP}{dx} = -\frac{\partial F / \partial x}{\partial F / \partial P}$$

Если $\partial F / \partial x = 0$, а $\partial F / \partial P \neq 0$, то тогда производная $dP/dx = 0$, и критическая точка есть предельная точка. Если же эти производные одновременно равны нулю, то эта точка есть точка бифуркации равновесия. Это означает, что точка бифуркации есть точка пересечения или точка касания двух кривых равновесия упругой системы: исходного (докритического), и «нового» (или закритического). Характер точки бифуркации определяется числом вещественных решений квадратного уравнения относительно «наклонов» касательных к указанным кривым равновесия в

точке бифуркации [1, 4]. Коэффициенты этого уравнения – вторые частные и смешанные производные функции $F(x, P(x)) = 0$, вычисленные в точке бифуркации. Тогда для некоторой точки $(x_{кр} + \delta x, P_{кр} + \delta P)$, близкой к точке бифуркации

$$F(x_{кр} + \delta x, P_{кр} + \delta P) \approx F_{xx} \delta x^2 + 2F_{xp} \delta x \delta p + F_{pp} \delta p^2 = 0.$$

Принимая, что $\delta P = k \delta x$, и $F_{pp} \neq 0$, получим уравнение для «наклонов» касательных в точке бифуркации

$$k^2 + 2 \frac{F_{xp}}{F_{pp}} k + \frac{F_{xx}}{F_{pp}} = 0$$

Если дискриминант этого уравнения $D = F_{xp}^2 - F_{pp} F_{xx} > 0$, то в точке бифуркации есть два различных наклона касательных к кривым равновесия ($dP/dx = k_1$ и $dP/dx = k_2, k_1 \neq k_2$). Следовательно, через точку бифуркации проходят две различные траектории равновесий, которые пересекаются в этой точке (рис. 1, а).

Если дискриминант D равен нулю, то квадратное уравнение имеет только одно двукратное решение $k_1 = k_2 = -F_{xp}/F_{pp}$. Это означает, что траектории равновесий не пересекаются в точке бифуркации, а имеют одну общую касательную (рис. 1, б, в). Такой случай соответствует так называемым «гладким» (или касательным) бифуркациям [1, 7], когда две кривые равновесий касаются друг друга в точке бифуркации или при касании образуют точку возврата. Гладкие бифуркации сравнительно редко встречаются в задачах устойчивости равновесия упругих систем.

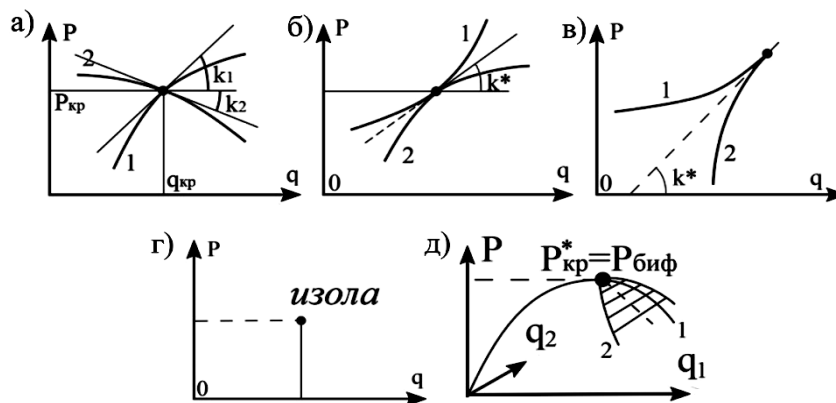


Рис. 1. Типы бифуркационных особенностей: а) бифуркация в результате пересечения двух траекторий равновесий; б, в) касательные бифуркации; г) изолированная точка бифуркации; д) двукратная критическая точка «ветвление в вершине холма».

Если же в точке бифуркации дискриминант отрицательный ($D < 0$), то эта критическая точка есть изолированная точка равновесия («изола», рис. 1, г): в неё нельзя попасть путем перемещения вдоль кривых равновесия. Для консервативных упругих систем изолированные равновесия есть следствие леммы Сарда, согласно которой изолированные равновесия консервативных систем образуют множество меры нуль.

Для систем с несколькими степенями свободы теоретическое исследование типа критической точки равновесия сводится к определению ранга расширенной матрицы Якоби J_F , имеющей N строк и $N + 1$ столбцов.

Пусть

$$F(X(q), \lambda(q)) = 0$$

есть система геометрически нелинейных уравнений равновесия, q – обобщенная координата (норма, параметр перемещений и т.д.), по которой строится кривая равновесных состояний $\lambda = \lambda(q)$, X – вектор перемещений, λ – параметр внешней нагрузки $F = \lambda \bar{p}$, (\bar{p} – вектор «единичных» нагрузок). Расширенная матрица Якоби имеет вид:

$$J_F = \left[J, \frac{\partial F}{\partial \lambda} \right] = \left[\frac{\partial F_1}{\partial X_1}, \frac{\partial F_1}{\partial X_2}, \dots, \frac{\partial F_1}{\partial X_N}, \frac{\partial F_1}{\partial \lambda} \right], \quad i = 1, 2, \dots, N$$

В критической точке (λ_{KPP}, X_{KPP}) матрица Якоби становится вырожденной ($\det J(\lambda_{KPP}, X_{KPP}) = 0$), а её ранг равен $N-1$ при простой (не кратной) критической нагрузке. Если и ранг расширенной матрицы J_F также равен $N-1$, то критическая точка есть точка бифуркации; если же среди миноров N -го порядка есть хотя бы один невырожденный, то ранг расширенной матрицы Якоби равен N , а критическая точка есть предельная точка.

Однако для многомерных упругих систем исследование типа критической точки при помощи вычисления ранга расширенной матрицы Якоби – труднореализуемая процедура. Более удобен энергетический подход, который заключается в следующем [5, 6].

Дифференцирование по параметру q дает

$$\sum_{i=1}^N \frac{\partial F_i}{\partial X_i} \frac{dX_i}{dq} + \frac{\partial F_i}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{dq} = 0, \text{ или } \left[\frac{\partial F_1}{\partial X_1}, \frac{\partial F_1}{\partial X_2}, \dots, \frac{\partial F_1}{\partial X_N} \right] \left[\frac{dX}{dq} \right] + \frac{\partial F}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{dq} = 0.$$

В критическом равновесии у вырожденной матрицы Якоби (или матрицы касательной жесткости для конечноэлементных моделей) наименьшее из её собственных чисел равно нулю. Пусть соответствующий собственный вектор есть Δ . Тогда справедливы равенства

$$J(\lambda_{KPP}, X_{KPP}) \cdot \Delta = \Delta^T \cdot J(\lambda_{KPP}, X_{KPP}) = 0.$$

Для симметричной матрицы Якоби левый собственный вектор равен правому. С учетом этого соотношения умножение предпоследнего равенства на транспонированный собственный вектор Δ^T слева дает

$$\Delta^T \cdot \left[\frac{\partial F_1}{\partial X_1}, \frac{\partial F_1}{\partial X_2}, \dots, \frac{\partial F_1}{\partial X_n} \right] \left[\frac{dX}{dq} \right] + \Delta^T \cdot \frac{\partial F}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{dq} = 0.$$

Здесь первое слагаемое равно нулю в силу второго равенства из предпоследнего соотношения. Но тогда, равно нулю и второе слагаемое

$$\Delta^T \cdot \frac{\partial F}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{dq} = 0.$$

Если в этом равенстве скалярное произведение не равно нулю ($\Delta^T \frac{\partial F}{\partial \lambda} \neq 0$), то в ноль должна обратиться производная

$$d\lambda/dq = 0.$$

Из этого вытекает, что критическая точка есть точка экстремума на кривой $\lambda = \lambda(q)$ (т. е. это верхняя или нижняя предельная точка).

Второй случай возникает, когда производная $d\lambda/dq = 0$ не равна нулю, а равно нулю скалярное произведение

$$\Delta^T \cdot \partial F / \partial \lambda = 0.$$

Тогда критическая точка есть точка бифуркации. Равенство нулю скалярного произведения имеет важный энергетический смысл – в точке бифуркации работа внешних сил исходного равновесия на перемещениях, задаваемых собственной формой, соответствующей нулевому собственному значению, равна нулю [5, 6]. Если же эта работа не равна нулю ($\Delta^T \cdot \partial F / \partial \lambda \neq 0$), то критическая точка есть предельная точка.

При одновременном равенстве нулю производной и скалярного произведения

$$d\lambda/dq = 0, \quad \Delta^T \cdot \partial F / \partial \lambda \neq 0.$$

критическая нагрузка двукратная: предельная точка одновременно оказывается и точкой симметричной бифуркации («ветвление в вершине холма», рис. 1, д). Такая полусимметричная точка бифуркации является одним из вариантов катастрофы гиперболической омбилики. Она возникает, например, при изменении типа критической точки: вместо потери устойчивости в предельной точке, при наименьшей критической нагрузке будет потеря устойчивости в точке бифуркации [5, 10].

Как возникают точки бифуркации? Они рождаются парами, как двукратные точки бифуркации на кривой равновесий, которые затем расщепляются в две простые точки бифуркации и расходятся друг от друга вдоль упомянутой кривой. Для симметричной и симметрично нагруженной в узле фермы Мизеса при начальных углах наклона стержней, мень-

ших $67^\circ, 36$, потеря устойчивости может быть только и предельных точках. Это значит, что при достижении критической нагрузки в предельной точке коэффициент жесткости в узле фермы по направлению действия силы становится равным нулю. Но нулевой коэффициент жесткости – это нулевое собственное значение матрицы Якоби, которому соответствует собственный вектор, пропорциональный форме равновесия фермы в предельной точке.

При начальных углах наклона, равных $67^\circ, 36$ и при нагрузке, значительно меньшей критической нагрузки в предельной точке, рождается двукратная точка бифуркации. С этого момента все, «высокие» фермы Мизеса, имеющие начальные углы наклона больше $67^\circ, 36$, теряют устойчивость в точке бифуркации - простой (не кратной), симметричной и неустойчивой. При этом вторая простая точка бифуркации «движется» вдоль кривой равновесий фермы, и при начальных углах наклона, равных $39^\circ, 295$ достигает предельной точки, а при дальнейшем увеличении этих углов попадает на неустойчивую («падающую») ветвь равновесий.

Отметим, что в точке бифуркации равновесия фермы Мизеса в ноль обращается коэффициент жесткости в узле фермы по направлению, перпендикулярному линии действия силы, а нулевому собственному значению матрицы Якоби соответствует собственный вектор, ортогональный исходной симметричной форме равновесия.

Для весьма пологих симметричных и симметрично нагруженных арок и аналогичных пологих цилиндрических оболочек, теряющих устойчивость равновесия в предельных точках, двукратная точка бифуркации рождается на неустойчивой ветви равновесий [8, 9, 5], расщепляется в две простые точки бифуркации, которые движутся друг от друга по этой ветви в противоположных направлениях по мере увеличения параметра подъемистости арки или оболочки. При некотором «граничном» значении этого параметра «верхняя» точка бифуркации достигает предельной точки. Образуется двукратная полусимметричная критическая точка («ветвление в вершине холма»). Далее точка бифуркации «проходит» предельную точку и попадает на устойчивую ветвь кривой равновесий. С этого момента, при наименьшей критической нагрузке потеря устойчивости симметричного равновесия арки (или симметричного равновесия оболочки) будет в точке бифуркации. При этом в ноль обращается собственное значение, которое определяет жесткость арки или оболочки по направлению, ортогональному к исходному симметричному равновесию.

Какой будет форма «нового» начального послекритического равновесия? Её можно представить как сумму предкритического равновесия и равновесия, определяемого собственной формой, соответствующей нулевому собственному значению. В предельной точке указанная собственная форма пропорциональна предкритической форме равновесия. Поэтому в результате прохождения предельной точки исходное равновесие не приобретает новых компонент. Качественно это то же предкритическое равновесие, но неустойчивое. Заметим, что предельную точку можно трактовать как двукратное равновесие, полученное в результате слияния двух почти одинаковых равновесий: устойчивого и неустойчивого. Превышение критической нагрузки в предельной точке приводит к исчезновению двукратного равновесия, поскольку соответствующие решения системы нелинейных уравнений равновесия становятся комплексно сопряжёнными.

В случае точки бифуркации изменение предкритического равновесия при переходе в начальное послебифуркационное равновесие реализуется в двух вариантах:

а) предкритическое равновесие пополняется новыми компонентами, которые соответствуют собственной форме «потери устойчивости». Это имеет место при бифуркации равновесия центрально сжатого стержня, бифуркации равновесия рамной системы с центрально сжатыми стойками, бифуркационной потери устойчивости плоского равновесия пластины, плоской арки и т.д. Во всех этих случаях ортогональная к предкритическому равновесию собственная форма «потери устойчивости» порождает дополнительные компоненты равновесия, которых не было в составе исходного равновесия. Так как начальное послебифуркационное равновесие есть сумма предкритического равновесия и указанных дополнительных компонентов, то «новое» начальное послебифуркационное равновесие оказывается материально более полным по сравнению с предкритическим равновесием.

б) предкритическое равновесие в результате бифуркационного пересечения не получает новых компонентов. Добавляются те же компоненты, что и в указанном равновесии, но распределенные по другому (энергетически ортогонально по отношению к предкритическому равновесию). По сравнению с вариантом а) здесь понятие «пополнение исходного равновесия» приобретает несколько другой смысловой оттенок. Пример - симметричное предкритическое равновесие арки при прохождении точки бифуркации суммируется с кососимметричными компонентами рав-

новесия, порожденными соответствующей кососимметричной собственной формой. В результате начальное (!!) послебифуркационное равновесие арки оказывается несимметричным, и, в определенном смысле, более полным (устойчивым или неустойчивым). Осесимметричное равновесие пологой оболочки вращения положительной гауссовой кривизны под действием сосредоточенной силы, приложенной в её вершине, в результате бифуркационной потери устойчивости переходит в квазициклически симметричное равновесие. Это закритическое равновесие есть сумма исходного осесимметричного моментного равновесия и циклически симметричных компонент, создаваемых собственной формой «потери устойчивости».

Отметим, что вариант б) может иметь место и в случае несимметричного предкритического равновесия, когда на первый взгляд оно представляется достаточно «полным», новых компонент для этого равновесия нет, и ожидаемая потеря устойчивости может быть только в предельной точке. Действительно, во многих случаях несимметричное равновесие «общего вида» теряет устойчивость в предельной точке, поскольку собственная форма «потери устойчивости» оказывается пропорциональной форме предкритического равновесия. Но в общем случае это не так. В качестве примера рассмотрим бифуркацию исходного равновесия симметричной круговой арки (угол раствора - 20° длина дуги 100 см, поперечное сечение – прямоугольное шириной 4 см и высотой 1 см). Арка нагружена двумя несимметрично приложенными и неодинаковыми вертикальными силами, отстоящими от опор на 25 см и 15 см (рис. 2 а, в). Пусть правая сила $P_2=1,2351P_1$. Критическое значение левой силы равно 4664 Н, правой – 5760,5 Н. Предкритическая форма несимметричного равновесия при нагрузках, равных 4560 Н и 5632,1 Н, и соответствующая этим нагрузкам двузначная собственная форма показаны на рис. 2, а, б. Из этого рисунка видно, что соотношение между перемещениями под силами, взятыми из этой первой собственной формы, есть отрицательная величина, обратная соотношению между силами (рис. 2, б). Но тогда работа внешних сил в состоянии критического равновесия на указанных перемещениях равна нулю. Следовательно, арка теряет устойчивость докритического равновесия в точке бифуркации. Пополнение несимметричного предкритического равновесия такими же, но почти кососимметричными компонентами, порождёнными соответствующей собственной формой, лишь несколько «подправляет» несимметричное предкритическое равновесие, но не добавляет к нему никаких новых компонент.

При других соотношениях между этими нагрузками, (например $P_2=0,8P_1$) исходное равновесие арки также несимметричное, но здесь соотношение энергетической ортогональности между исходным равновесием (рис. 2, в) и соответствующей ему предкритической собственной формой (рис. 2, г) не выполняется, так как эта форма почти повторяет указанное равновесие. Поэтому потеря устойчивости арки будет в предельной точке.

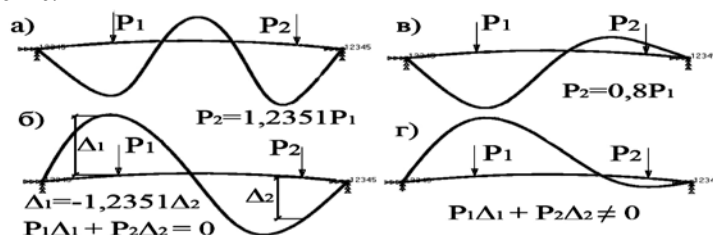


Рис. 2. Собственные формы двухшарнирных арок 20° в критическом равновесии: а), в) формы предкритического равновесия; б), г) первые собственные формы в критическом равновесии.

Отметим, что для определения типа критической точки с помощью собственной формы в предкритическом равновесии необходимо вычислять эту форму при нагрузке, практически совпадающей с критической (рис. 3). Так для арки с углом раствора 6° , теряющей устойчивость в предельной точке от действия сосредоточенной силы в замковом сечении, собственная форма, пропорциональная форме предкритического равновесия, оказалась первой лишь при нагрузке $\approx 0,99P_{кр}$ (рис. 3, б). При меньших нагрузках первая собственная форма была ортогональна предкритическому равновесию арки (рис. 3, в), что ошибочно указывало на бифуркационный характер ожидаемой потери устойчивости.

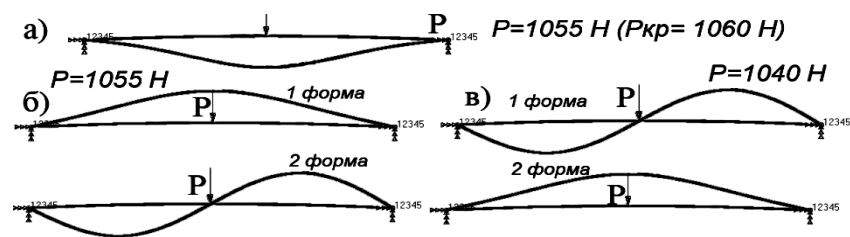


Рис. 3. Собственные формы двухшарнирных арок 6° в предкритическом и критическом равновесии: а) форма арки в предкритическом равновесии ($P=1055 \text{ H}$); б) две первые собственные формы при нагрузке $P=0,9953P_{кр}$, в) две первые собственные формы при нагрузке $P=0,9811P_{кр}$.

Упомянутая арка 6° действительно теряет устойчивость в предельной точке, поскольку постановка в замковом сечении горизонтальной связи не изменила значения вычисленной критической нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иосс Ж, Джозеф Д. Экспериментальная теория устойчивости и бифуркаций. - М.: Мир. – 1983 г, 300 с.
- [2] Huseyin K. The elastic stability of structural systems with independent loading parameters. // *Int. J. Solids Structures*. – Vol. 6. 1970, p. 677-691.
- [3] Huseyin K. The convexity of the stability boundary of symmetric structural systems. // *Acta mechanica*, 8. – 1969, p. 205-211.
- [4] Мануйлов Г.А., Жуков К.А., Косицын С.Б. Метод «неособенных продолжений» в задачах устойчивости нелинейно деформируемых упругих систем. // *Строительная механика и расчет сооружений*. - №5, 1989 г, стр. 68-72
- [5] Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М. Исследование устойчивости круговых двухшарнирных арок с учетом влияния начальных несовершенств. // *Строительная механика и расчет сооружений*. № 1, 2009. С. 17 – 23.
- [6] Galishnikova V., Dunaiski P., Pahl P.J. Geometrically nonlinear analysis of plane trusses and frames. Sun press. – 2009, 382 p.
- [7] Григолюк Э.И., Шалашин В.И. Проблемы нелинейного деформирования. М.: Наука. – 1099 г., 250 с.
- [8] Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Том 1. – М.: СКАД СОФТ. – 2007 , 670 с.
- [9] Ворович И.И., Яценко М.Н. Об одной форме потери устойчивости цилиндрической панели. // В сб. «Теория оболочек и пластин». Труды VIII Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. Ростов-Дон 1971. – М.: Наука. – 1973 г., 798 с.
- [10] Томпсон Дж.М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. - М.: Мир. 1985 г., 254 с.

ТОНКОСТЕННЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ И ПЛАСТМАССОВЫЕ ОБОЛОЧКИ В ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

С.Н. Кривошапко, *д.т.н.*

И.А. Мамиева

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия

Показаны на конкретных примерах возможности использования композитов в качестве основных (базовых) элементов сооружений промышленного и гражданского назначения.

Ключевые слова: композитные оболочки, пластмассы, стеклопластиковый купол, эластичный резервуар.

В начале XX в. возникло промышленное производство синтетических соединений – смол. Начиная с 30-х годов, количество вырабатываемых смол и пластмасс достигло промышленных масштабов и их стали применять в промышленности, а затем и в строительстве, благодаря их достоинствам: высокая прочность при малом собственном весе, стойкость в агрессивной среде и по отношению к гниению. *Пластмассами* называются материалы, содержащие в качестве основного компонента синтетический полимер. *Неоднородные пластмассы* кроме полимера могут содержать вспомогательные вещества (технологические добавки), придающие им определенные свойства. *Стеклопластики* представляют собой пластмассы, состоящие из стеклянного наполнителя и связующего. Стеклянное волокно является для стеклопластика арматурой. *Древесные пластики* – это материалы, полученные соединением синтетических смол и продуктов переработки древесины. К ним относятся древесно-волоконистые плиты (ДВП) и древесно-стружечные плиты (ДСП).

Композиционный материал (композит) – искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними. В большинстве композитов (за исключением слоистых) компоненты можно разделить на *матрицу* и включенные в нее *армирующие элементы*. В композитах конструкционного назначения армирующие элементы обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жесткость и т.д.), а матрица (связующее) обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды.

Вначале пластмассы использовали в качестве теплоизоляции (пенопласт, сотопласт и др.), затем они нашли применение в пневматических конструкциях (прорезиненная ткань, армированная пленка). Применение пластмасс сопровождалось исследованием их физико-механических свойств, методов расчета и технологии их изготовления [1]. Начиная с 30-х гг. прошлого века эластичные (мягкие) резервуары широко применялись и применяются в военных целях.

В 50-е годы XX века появляются малопрлетные купольные покрытия, выполненные из листового пластика. Б. Фуллер разработал покрытия для

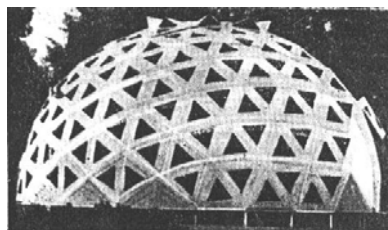


Рис. 1. Купольное покрытие Б. Фуллера (1950-е годы, США)



Рис. 2. Ангар для радара, Point Lay, Аляска, США, 1950-е годы

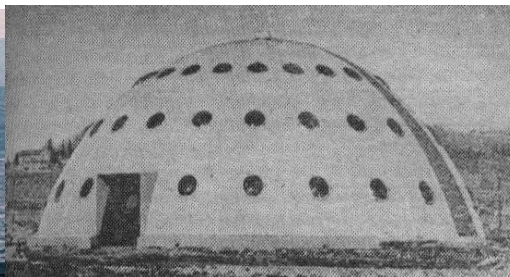


Рис. 3. Трехслойный пластмассовый купол выставочного павильона в г. Бергамо (Италия)

подсобных помещений с несущими плоскими элементами из листов фанеры, битуминизированного картона, оргалита, оклеенного фольгой, пластика. Использовалась комбинация из непрозрачных и светопрозрачных листов, что позволяло создать в этих сооружениях любую освещенность (рис. 1).

В это же время в северных районах США появляются функционально востребованные антенные устройства и сферические ангара для радаров, выполненные из пластика (рис. 2). Трехслойный пластмассовый купол выставочного павильона в г. Бергамо (Италия) диаметром 25 м, стрелой подъема 9 м и общей толщиной 5 см состоит из обшивки из стеклопластика толщиной 3 мм и среднего слоя из пенопласта. Купол собран на болтах из 24 однотипных сегментов. Купол опирается на полое железобе-

тонное кольцо (рис. 3). Купольные покрытия из стеклопластиков с геодезической схемой разрезки стали достигать 35-40 м в диаметре.

В СССР тоже изготавливались малопроектные купола из синтетических материалов. Для примера можно привести экспериментальный жилой дом для Заполярья (рис. 4), запроектированный инженером Бодянским из сборно-разборных элементов.

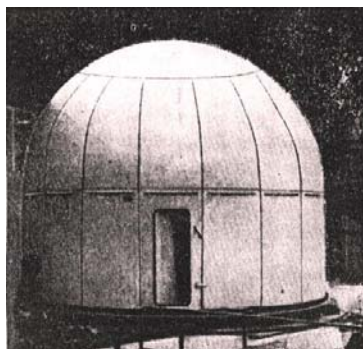


Рис. 4. Жилой дом для Заполярья, 1959 год.

На рис. 5 представлен зонтичный стеклопластиковый купол диаметром 18 м над зданием рынка в г. Сент-Уан (Франция). Стрела подъема купола – 3,3 м. Каждый волнистый элемент имеет толщину 7 мм. Купол установлен на здании размером 36×18 м.

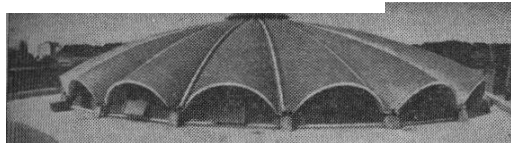


Рис. 5. Зонтичный купол из стеклопластика, г. Сент-Уан, Франция

Серьезным недостатком пластмассовых конструкций того времени была большая температурная деформативность и недолговечность, но их легкость, простота изготовления, транспортабельность и светопрозрачность предсказывали им большое

будущее. Однако еще в 1986 г. предлагалось использовать их только в пневматических конструкциях и в малопроектных покрытиях. Рассмотрим некоторые современные предложения по применению тонкостенных пластмассовых и композитных оболочек в строительстве.

В качестве материала для тонкостенных гладких куполов могут использоваться пластмассы, обладающие свето- и радиопрозрачностью. Легкость, прочность, простота формообразования стеклопластиков позволяют использовать их для изготовления панелей сборных куполов.

«Купола-оболочки бывают однослойными, двух- и трехслойными. Однослойные купола изготавливают из оргстекла, полиэфирного светопрозрачного стеклопластика и пенопласта (пенополистирола и др.). Двухслойная оболочка состоит из наружного стеклопластикового слоя и внутреннего пенопластового. Трехслойные купола общей толщиной от 15 до 50 мм имеют стеклопластиковые обшивки толщиной до 3 мм и средний слой из пенополистирола, пенополиуретана, сотопласта и просто воздушной прослойки.

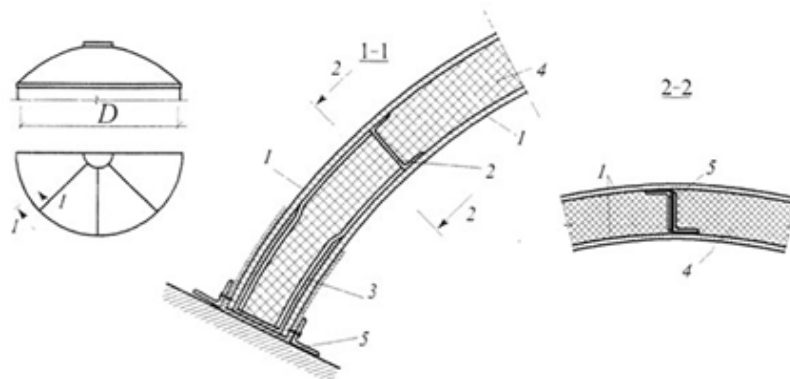


Рис. 6. Детали сферического пластмассового купола из трехслойных панелей (схема купола, опорный и стыковочный узлы)
 1 – внешний слой стеклопластика, 2 – швеллер из стеклопластика (ребро жесткости), 3 – швеллер опорной кромки панели, 4 – средний слой из пенопласта, 5 – стальные опорные уголки.

Диаметр и толщина однослойных куполов из органического стекла достигают, соответственно, 10 м и 20 мм; из стеклопластика – 9 м и 6 мм; из пенопласта – 24 м и 200 мм. Параметры двухслойных куполов аналогичны однослойным стеклопластиковым, так как внутренний пенопластовый слой, в основном, выполняет функцию утеплителя. Трехслойные купола возводят диаметром до 25 м и общей толщиной оболочки до 50 мм.

Однослойные панели сборных куполов могут быть лотковой, треугольной или трапециевидной формы (плоской или выпуклой). Они имеют отбортовки, удобные для болтовых соединений. При необходимости в швах прокладывают металлические полосы жесткости или кромки панелей усиливают уголками. Таким панелям можно придавать любые формы. Детали трехслойной панели типа «сэндвич» показаны на рис. 6 [1].

Купола диаметром до 6 м изготавливают и транспортируют целиком; при больших размерах их монтируют из отдельных элементов либо изготавливают на месте.



Рис. 7. Капсула из прозрачного эластичного материала, Франция



Рис. 8. Трехслойная оболочка гостиницы в Домбае [clubs.ya.ru]



Рис. 9. Купол из армированного пластика

В коммуне Аллош, расположенной на юге Франции, открыли отель *Attrap'Rêves* (фр. «Ловец снов») [2]. Экзотическая гостиница состоит из нескольких номеров, выполненных



Рис. 10. Купол из монолитного поликарбоната

в виде прозрачных капсул-полусфер диаметром 4 метра и высотой 3 метра (рис. 7). Пол в капсулах деревянный. Купол сделан из прозрачного эластичного материала, который днём защищает от ультрафиолетовых лучей, а ночью позволяет любоваться звёздами. Форму капсулы поддерживает небольшой бесшумный вентилятор, который «загоняет» внутрь свежий

воздух.

Высокогорная гостиница для горнолыжников в Домбае сделана в форме эллипсоида вращения (рис. 8). Оболочка диаметром 8 м собрана на болтах из 16 сегментов. Обшивка – из полиэфирного стеклопластика толщиной 2,5 мм, а средний слой из пенополиуретана толщиной 4 см.

На сайте компании *Whitestone Designs Inc.* представлены несколько вариантов куполов из армированного пластика (рис. 9). В России в секторе светопрозрачных конструкций работает компания «Сигма-Строй». Она поставляет и монтирует фонари из акрила и поликарбоната всех возможных форм и размеров (рис. 10).

По-прежнему являются востребованными защитные оболочки радиорелейных станций, которые предназначены для защиты радиолокационных систем аэропортов от атмосферных воздействий и обеспечения нормальной работы аппаратуры в сложных метеорологических условиях. Защитные оболочки представляют собой самонесущий трехслойный или однослойный стеклопластиковый гладкий или зонтичный купол. Зонтич-

ный купол состоит из однотипных секций, соединенных между собой болтовым соединением (рис. 11).

Стыки герметизируются стеклянной тканью на эластичной специальной мастике. Внутри радиопрозрачного купола возможно пребывание людей. Стеклопластиковые оболочки РЛС эксплуатируются в аэропортах Домодедово, Внуково, Шереметьево и других аэропортах России [3].

В настоящее время считается, что самый большой в мире композитный купол – это купол мечети в Бахрейне (рис. 12), диаметр которого – 25 м.



Рис. 11. Стеклопластиковая оболочка РЛС (ОАО «Авангард»)



Рис. 12. Grand Mosque, Бахрейн

Купол – из жаропрочного армированного стекловолокном пластика, цвет и фактура пластика подогнаны под соответствующие параметры природного камня. Компания – изготовитель дала тридцатилетнюю гарантию на материал сооружения.

Композиты используются при производстве эластичных (мягких) резервуаров – оболочек для длительного хранения топлива и для краткосрочного хранения нефти и нефте-

продуктов при ликвидации аварийных разливов или при выполнении аварийных работ на магистральных трубопроводах. Данный вид резервуаров производится из термопластичных композитов. В качестве силовой основы материала оболочки резервуара ПЭР-Н (рис. 13) применяется полиэфирная ткань баллистического плетения, которая обеспечивает механическую прочность изделия сравнимую по прочности с грузовой стропой.

В последние годы геодезические сетчатые конструкции, изготовленные из современных композитных материалов методом намотки, находят все более широкое применение в ракетно-космической технике в качестве переходных отсеков ракет, корпусов космических аппаратов и несущих элементов космических платформ, имеющих форму цилиндрических или конических оболочек [4]. Но сетчатые оболочки, образованные сис-

темой ребер, могут использоваться и при строительстве сооружений различного назначения.

Благодаря своим свойствам композиты применяются помимо указанной выше ракетно-космической технике и в авиастроении, судостроении, для производства деталей и узлов в автомобилестроении и сельскохозяйственном машиностроении, при производстве подвижных железнодорожных составов. По-видимому, это и есть основные отрасли, где в настоящее время находят и будут находить в будущем применение композитные изделия.

Что касается применения композитов в строительной отрасли, то здесь они в основном, применяются в качестве стройматериалов и готовых изделий для благоустройства базовых зданий и сооружений, в ЖКХ для трубопроводных систем, для



Рис. 14. Детская площадка

производства сэндвич-панелей, в качестве арматуры для армирования бетона, для

светопрозрачной кровли, профилей для окон, при оборудовании детских площадок (рис.14). В промышленном строительстве композиты применяются для систем вентиляции, водоснабжения, канализации и т.д. [5].

Цель данной статьи – показать возможности использования композитов в качестве основных (базовых) элементов сооружений промышленного и гражданского назначения.

Генеральный директор ООО УК «Рускомполит» А.С. Никитин считает, что «в РФ уже сложились все базовые предпосылки для формирования самостоятельной композитной отрасли. Однако, до сих пор она пребывает в зачаточном состоянии. Основные причины этому известны: 1) технологическая отсталость отечественного производства, причем, как производства исходного сырья, так и конечных продуктов – композитных материалов, 2) отсутствие крупных потребителей композитных изделий в



Рис. 13. Эластичный резервуар (фото И.Г. Барышева, ООО НПФ «Политехника»)

тех отраслях промышленности, где композиты способны заменить традиционные материалы, 3) отсутствие действующей системы технического регулирования, отсутствие современных стандартов, регламентирующих производство и методы испытаний» [6].

В заключение отметим, что существующая теоретическая база расчетов композитных конструкций на прочность позволяет довольно успешно проектировать разнообразие конструкций и сооружения [7].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Слицкоухов Ю.В. и др. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: СИ, 1986. – 543 с.
- [2] Cecchini Cecilia. New methods for exhibiting plastic material through design, research, preservation and educational means: the plant foundation (plastic + art)// CnS – La Chimica nella Scuola XXXIV -3 Proceedings ICCE-ECRICE. – P. 72-74.
- [3] Айрапетов Д.П., Заварихин С.П., Макотинский М.П. Пластмассы в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1981. – 190 с.
- [4] Азаров А.В. К теории сетчатых композитных оболочек // Изв. РАН. МТТ. – 2013. – № 1. – С. 71-83.
- [4] Kottas Dimitris. Architecture and Construction in Plastic. – Links International, 2012. – 240 p.
- [6] Перспективы применения композитных материалов, www.ft-publishing.ru
- [7] Белозеров Л.Г., Киреев В.А. Композитные оболочки при силовых и тепловых воздействиях. – М.: Изд-во «Физматлит», 2003. – 388 с.

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ АППРОКСИМАЦИЙ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В МКЭ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК

Ю.В. Клочков, *д.т.н.*

Т.Р. Ищанов, *аспирант*

Волгоградский государственный аграрный университет
400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26

Выполнен сравнительный анализ скалярной и векторной аппроксимаций полей перемещений на примере конечно-элементного расчета эллиптического цилиндра при использовании теории тонких оболочек Новожилова В.В.

Ключевые слова: векторная аппроксимация, скалярная аппроксимация, конечный элемент, эллиптический цилиндр.

В настоящее время широкое распространение получили численные методы расчета, среди которых наибольшую известность приобрел метод конечных элементов (МКЭ) [1,2].

В данной работе изложен алгоритм конечно-элементного расчета произвольной оболочки в форме эллиптического цилиндра при использовании теории тонких оболочек Новожилова В.В. [3] в сочетании с векторной формой аппроксимации перемещений.

1. Геометрия эллиптического цилиндра

Радиус-вектор точки срединной поверхности эллиптического цилиндра может быть задан в декартовой системе координат в виде

$$\vec{R}^0 = x \vec{i} + b \cdot \sin(t) \vec{j} + c \cdot \cos(t) \vec{k}, \quad (1)$$

где b и c - полуоси поперечного сечения эллиптического цилиндра ($y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1$), t - параметр, отсчитываемый от оси OZ.

Дифференцируя (1) по x , t и выполняя нормализацию векторов локального базиса, можно получить орты, касательные к линиям главных кривизн

$$\begin{aligned} \vec{e}_1^0 &= \vec{R}_{,x}^0 = \vec{i}; \\ \vec{e}_2^0 &= \vec{R}_{,t}^0 = (b \cdot \cos(t)/d) \vec{j} + (-c \cdot \sin(t)/d) \vec{k}; \\ \vec{e}_n^0 &= (c \cdot \sin(t)/d) \vec{j} + (b \cdot \cos(t)/d) \vec{k}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $d = \sqrt{b^2 \cos^2(t) + c^2 \sin^2(t)}$.

Деформации и искривления в произвольной точке срединной поверхности эллиптического цилиндра могут быть выражены через компоненты вектора перемещения и их производные [3]

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial v^1}{\partial x}; \quad \varepsilon_{22} = \frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial v^2}{\partial t} - k v; \quad \varepsilon_{12} = \frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial v^1}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} \\ \chi_{11} &= -\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}; \quad \chi_{12} = -\frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial t} - \frac{\partial v^2}{\partial x} k; \\ \chi_{22} &= -\frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial(1/A_2)}{\partial t} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} - \left(\frac{1}{A_2}\right)^2 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \frac{1}{A_2} \cdot \frac{\partial v^2}{\partial t} k - \frac{1}{A_2} \cdot \frac{k}{\partial t} v^2 \end{aligned} \quad (3)$$

где $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12}$ - относительные удлинения и сдвиг срединной поверхности; $\chi_{11}, \chi_{22}, \chi_{12}$ - искривления и кручение срединной поверхности оболочки в процессе деформирования; x - осевая координата; $A_2 = \sqrt{(\varphi_t')^2 + (\psi_t')^2}$; $\varphi = b \cdot \sin(t)$, $\psi = c \cdot \cos(t)$; v^1, v^2, v - тангенциальные и нормальные компоненты вектора перемещения точки срединной поверхности; k - кривизна дуги поперечного сечения эллиптического цилиндра.

2. Элемент дискретизации и аппроксимация искомых величин

В качестве элемента дискретизации выбирается четырехугольный фрагмент срединной поверхности эллиптического цилиндра с узлами i, j, k, l , отображаемый для удобства численного интегрирования на квадрат с локальной системой координат $-1 \leq \xi, \eta \leq 1$.

Глобальные криволинейные координаты $\theta^1 = x$ и $\theta^2 = t$ произвольной точки срединной поверхности криволинейного конечного элемента определяются через их узловые значения с использованием билинейных функций координат ξ и η

$$\theta^\alpha = \{\mu(\xi, \eta)\}^T \{\theta_y^\alpha\}, \quad (4)$$

где $\{\theta_y^\alpha\}^T = \{\theta^{ai} \theta^{aj} \theta^{ak} \theta^{al}\}$ - строка узловых значений координат θ^α .

Столбец узловых варьируемых параметров в локальной ξ, η и в глобальной x, t системах координат выбирается в виде

$$\left\{ \underset{1 \times 72}{U_y^\alpha} \right\}^T = \left\{ \underset{1 \times 24}{V_y^{1l}} \right\}^T \left\{ \underset{1 \times 24}{V_y^{2l}} \right\}^T \left\{ \underset{1 \times 24}{V_y^l} \right\}^T; \left\{ \underset{1 \times 72}{U_y^\Gamma} \right\}^T = \left\{ \underset{1 \times 24}{V_y^{1\Gamma}} \right\}^T \left\{ \underset{1 \times 24}{V_y^{2\Gamma}} \right\}^T \left\{ \underset{1 \times 24}{V_y^\Gamma} \right\}^T, \quad (5)$$

где

$$\left\{ \underset{1 \times 24}{q_y^\alpha} \right\}^T = \{q^i q^j q^k q^l q_{,\xi}^i q_{,\xi}^j q_{,\xi}^k q_{,\xi}^l q_{,\eta}^i \dots q_{,\eta}^l q_{,\xi\xi}^i \dots q_{,\xi\xi}^l q_{,\eta\eta}^i \dots q_{,\eta\eta}^l q_{,\xi\eta}^i \dots q_{,\xi\eta}^l\},$$

$$\left\{ \underset{1 \times 24}{q_y^\Gamma} \right\}^T = \{q^i q^j q^k q^l q_{,x}^i q_{,x}^j q_{,x}^k q_{,x}^l q_{,\theta}^i \dots q_{,\theta}^l q_{,xx}^i \dots q_{,xx}^l q_{,tt}^i \dots q_{,tt}^l q_{,xt}^i \dots q_{,xt}^l\}$$

Здесь и ниже под q^m ($m = i, j, k, l$) понимается компонента узлового вектора перемещения v^{1m} , v^{2m} или v^m .

При скалярном варианте аппроксимации искомых величин каждая компонента вектора перемещения точки внутренней области элемента дискретизации и ее производные, аппроксимируются через узловые значения этой же компоненты и ее производные, оставаясь независимой от остальных двух компонент [1]

$$q = \left\{ \underset{1 \times 24}{\psi} \right\}^T \left\{ \underset{24 \times 1}{q_y^\alpha} \right\}, \quad q_{,\xi} = \left\{ \underset{1 \times 24}{\psi_{,\xi}} \right\}^T \left\{ \underset{24 \times 1}{q_y^\alpha} \right\}, \quad q_{,\xi\xi} = \left\{ \underset{1 \times 24}{\psi_{,\xi\xi}} \right\}^T \left\{ \underset{24 \times 1}{q_y^\alpha} \right\}. \quad (6)$$

При векторном способе интерполяции искомых величин в качестве узловых варьируемых параметров принимаются непосредственно векторы перемещения узлов элемента дискретизации и их производные в локальной и глобальной системах координат [2]

$$\left\{ \begin{matrix} \vec{v}_y \\ \vec{v}_y \end{matrix} \right\}_{1 \times 24}^T = \left\{ \begin{matrix} \vec{v} & \vec{v} & \vec{v} & \vec{v} & \vec{v}_{,\xi} & \vec{v}_{,\xi} & \vec{v}_{,\eta} & \vec{v}_{,\eta} & \vec{v}_{,\xi\xi} & \vec{v}_{,\xi\xi} & \vec{v}_{,\xi\xi} & \vec{v}_{,\xi\xi} & \vec{v}_{,\eta\eta} & \vec{v}_{,\eta\eta} & \vec{v}_{,\eta\eta} & \vec{v}_{,\eta\eta} & \vec{v}_{,\xi\eta} & \vec{v}_{,\xi\eta} & \vec{v}_{,\xi\eta} & \vec{v}_{,\xi\eta} \end{matrix} \right\};$$

$$\left\{ \begin{matrix} \vec{v}_y \\ \vec{v}_y \end{matrix} \right\}_{1 \times 24}^T = \left\{ \begin{matrix} \vec{v} & \vec{v} & \vec{v} & \vec{v} & \vec{v}_{,x} & \vec{v}_{,x} & \vec{v}_{,x} & \vec{v}_{,x} & \vec{v}_{,l} & \vec{v}_{,l} & \vec{v}_{,l} & \vec{v}_{,l} & \vec{v}_{,xx} & \vec{v}_{,xx} & \vec{v}_{,xx} & \vec{v}_{,xx} & \vec{v}_{,ll} & \vec{v}_{,ll} & \vec{v}_{,ll} & \vec{v}_{,ll} \end{matrix} \right\}. \quad (7)$$

При векторном варианте аппроксимации искоемых величин вектор перемещения точки внутренней области конечного элемента аппроксимируется через векторы узловых точек соотношением [2]

$$\vec{v} = \left\{ \psi_{,y} \right\}_{1 \times 24}^T \left\{ \begin{matrix} \vec{v}_y \\ \vec{v}_y \end{matrix} \right\}_{24 \times 1} = \left\{ \psi_{,y} \right\}_{1 \times 24}^T [L]_{24 \times 24} \left\{ \begin{matrix} \vec{v}_y \\ \vec{v}_y \end{matrix} \right\}_{24 \times 1} = \left\{ \psi_{,y} \right\}_{1 \times 24}^T [\vec{A}]_{24 \times 72} [G]_{72 \times 72} [N]_{72 \times 72} \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T$$

$$\vec{v}_{,x} = \left\{ \psi_{,x} \right\}_{1 \times 24}^T [\vec{A}]_{24 \times 72} [G]_{72 \times 72} [N]_{72 \times 72} \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \vec{v}_{,xl} = \left\{ \psi_{,xl} \right\}_{1 \times 24}^T [\vec{A}]_{24 \times 72} [G]_{72 \times 72} [N]_{72 \times 72} \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad (8)$$

где $[\vec{A}]_{24 \times 72}$ - квазидиагональная матрица, содержащая векторы локальных базисов узловых точек $\{e^m\} = \{e_1^m, e_2^m, e_3^m\}$; $\{U_{,y}^{\Gamma}\}_{72 \times 1}^T$ - столбец узловых варьируемых параметров в глобальной системе координат, $[G]_{72 \times 72}$, $[N]_{72 \times 72}$ - матрицы, содержащие узловые значения геометрических характеристик.

Из (8), используя выражения базисных векторов узловых точек через базисные векторы внутренней точки конечного элемента $\{e^m\} = [Z] \{e\}$, ($m=i, j, k, l$) можно получить выражения

$$\vec{v} = \left\{ e \right\}_{1 \times 3}^T [h]_{3 \times 72} \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \vec{v}_{,x} = \left\{ e \right\}_{1 \times 3}^T [h_{,x}]_{3 \times 72} \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \vec{v}_{,xl} = \left\{ e \right\}_{1 \times 3}^T [h_{,xl}]_{3 \times 72} \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T. \quad (9)$$

Из (9) определяются матричные выражения для компонент вектора перемещения и их производных

$$\nu^1 = \{\alpha_1\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \nu^2 = \{\alpha_2\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \nu = \{\alpha\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T,$$

$$\nu_{,x}^{\rho} = \{\beta_x^{\rho}\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \nu_{,x} = \{\beta_x\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad (10)$$

$$\nu_{,xl}^{\rho} = \{\beta_{xl}^{\rho}\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T, \quad \nu_{,xl} = \{\beta_{xl}\}_{1 \times 72}^T \left\{ U_{,y}^{\Gamma} \right\}_{72 \times 1}^T$$

Матрица жесткости и столбец внешней нагрузки формируются на основе функционала Лагранжа стандартным образом [1]

$$\int_V \{\varepsilon^{\zeta}\}^T \{\sigma\} dV = \int_F \{U\}^T \{P\} dF, \quad (11)$$

где $\{\sigma\} = [C] \{\varepsilon^{\zeta}\}$, $\{\varepsilon^{\zeta}\} = [\Gamma] \{\varepsilon\}$, $\{U\}^T = \{v^1 v^2 v^3\}$.

Пример расчета

Был рассчитан эллиптический цилиндр, нагруженный сосредоточенной силой P и имеющий на диаметрально противоположной стороне шарнирную опору, препятствующую вертикальному смещению (Рис. 1).

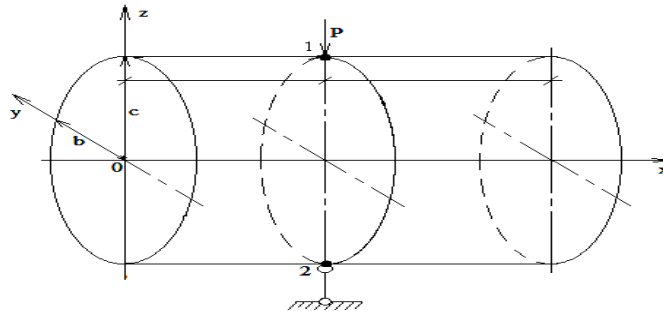


Рис. 1.

Были приняты следующие исходные данные: $L = 26,289$ см, $b = c = 12,58$ см, $t = 0,24$ см, $P = 453,6$ Н, $E = 0,738 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0,3125$. Отношение параметров $n=b/c$ поперечного сечения эллиптического цилиндра варьировалось от 1 до 4. Расчет выполнен в двух вариантах, при использовании скалярной и векторной аппроксимаций.

В таблице 1 представлены результаты расчета кругового цилиндра, а в таблице 2 - эллиптического цилиндра при отношении $b/c=2$.

При выбранной расчетной схеме напряжения в точке приложения сосредоточенной силы (точка 1) и в точке шарнирного опирания (точка 2) должны быть равны.

Таблица 1

Координаты точек (x, t)	Напряжения, МПа	Варианты аппроксимации					
		Скалярная			Векторная		
		10x10	20x20	30x30	10x10	20x20	30x30
Точка 1 (0; $\pi / 2$)	σ_{\parallel}^B	195.6	247.6	277.3	237.3	290.0	319.2
	σ_{\parallel}^H	-237.2	-291.0	-320.5	-191.0	-249.1	-279.6
Точка 2	σ_{\parallel}^B	195.6	247.6	277.3	237.3	290.0	319.2

$(0; -\pi / 2)$	σ_{II}^H	-237.2	-291.0	-320.5	-191.0	-249.1	-279.6
-----------------	-----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Из таблицы 1 видно, что результаты повариантного расчета кругового цилиндра практически совпадают между собой.

Таблица 2

Координаты точки (x, t)	Прямая, σ_{II}^B	Варианты аппроксимации					
		скалярная			векторная		
		10x10	20x20	30x30	10x10	20x20	30x30
Точка 1 $(0; \pi / 2)$	σ_{II}^B	246.5	298.6	328.3	241.7	294.0	323.5
	σ_{II}^H	-287.7	-340.4	-370.0	-198.3	-253.2	-283.3
Точка 2 $(0; -\pi / 2)$	σ_{II}^B	157.3	197.3	220.0	241.7	294.0	323.5
	σ_{II}^H	-189.0	-229.4	-252.1	-198.3	-253.2	-283.3

Данные, представленные в таблице 2, показывают, что при использовании скалярной аппроксимации значения напряжений в точках 1 и 2 значительно различаются между собой, тогда как при векторном варианте аппроксимации они совпадают.

Анализируя данные таблиц, можно сделать вывод, что при использовании соотношений Новожилова В.В. векторная аппроксимация эффективна как для оболочек вращения, так и для оболочек произвольного вида. Скалярная аппроксимация дает удовлетворительные результаты только при круговом цилиндре.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Постнов В.А., Хархурим И.Я. (1974). Метод конечных элементов в расчетах судовых сооружений. – Л.: Судостроение. – 344 с.
- [2] Николаев А.П., Клочков Ю.В., Киселев А.П., Гуреева Н.А. (2012). Векторная интерполяция полей перемещений в конечно-элементных расчетах оболочек – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ «Нива». – 264с.
- [3] Новожилов В.В. (1962). Теория тонких оболочек. - Л.: Судостроение., - 431с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М.И. Рынковская, к.т.н.

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье кратко рассматриваются современные направления развития строительства и их взаимосвязь с новыми технологиями, применяемыми как при возведении зданий и сооружений, так и при их проектировании.

Ключевые слова: новые технологии, энергоэффективность, экологичность, расчетные программы.

При рассмотрении новых технологий в строительстве особое внимание обращается на актуальные проблемы возведения современных сооружений, таких как высотные здания, уникальные сооружения, большепролетные конструкции, современное малоэтажное и энергоэффективное строительство. С другой стороны, разработка новых строительных материалов и технологий возведения зданий также задает новые направления развития строительства и архитектуры, так как позволяет реализовывать более смелые проектные решения. К основным современным направлениям развития строительства можно отнести, например, следующие: возведение энергоэффективных сооружений; возведение экологически чистых сооружений; возведение зданий, комфортных для людей; применение новых технологий возведения зданий; применение новых строительных материалов; возведение уникальных и большепролетных сооружений; применение новейших компьютерных технологий как в проектировании и расчете, так и при возведении зданий и т.д.

При проектировании и возведении сооружений обычно учитываются и комбинируются сразу несколько современных тенденций.

В качестве основных отличительных черт экологического и комфортного строительства можно назвать минимальное воздействие на природу; энергосбережение; вписывание зданий в окружающий ландшафт; бионику (применение форм, повторяющих природные); применение экологически чистых материалов; озеленение зданий и территорий; эргономику (ориентированность на комфортность для человека). На первый план при проектировании выходят такие понятия как пассивный дом (passive home), умный дом (digital home), дом с положительным энергетическим балансом (active home). Стоит отметить, что мероприятиями по повышению энергоэффективности проектов экологическое проектирование не ограничивается, хотя зачастую эти два понятия смешиваются.

Примеры международной практики ведущих стран по энергоэффективному строительству показывают, что с помощью архитектурно-строительных решений и новых технологий можно сберечь энергию, ок-

ружающую среду и повысить комфортность зданий для проживания людей не только в рамках нового строительства, но также и повысить энергоэффективность уже существующих сооружений.

Особый интерес вызывают примеры экологически чистых домов, построенных в разных частях света, а также понятие «устойчивости среды обитания» (sustainability in building), которое характеризуется такими качествами как: комфорт и качество внешней среды, архитектуры и планировки объекта, комфорт и экология внутренней среды объекта, санитарная защита и утилизация отходов, энергосбережение и энергоэффективность, экология создания, эксплуатации и утилизации объекта.



Рис. 1

Технологии возведения зданий также совершенствуются, особенно благодаря развитию направлений высотного и уникального домостроения, а также развитию компьютерных технологий. Можно выделить: монолитное бетонирование конструкций (Рис. 1), которое появилось еще в 30-е годы, но получило особое распространение в

России только в последнее десятилетие; методы бетонирования высотных зданий, например, с применением гидравлической распределительной стрелы, которая монтируется на уже возведенном нижележащем перекрытии, и переставных самоподъемных опалубок с гидравлическим приводом, которые позволяют увеличить темпы и качество строительства. Интересны активно развивающиеся новые технологии 3D печати сооружений (например, с помощью 3D-принтера D-shape), которые могут открыть новые перспективы развития архитектурных и строительных отраслей уже в ближайшем будущем.

Социальную значимость имеют новые типы быстровозводимых легких конструкций, позволяющих эффективно обеспечивать временным жильем жертв природных и политических катаклизмов, а также решать особо острые жилищные проблемы социально неблагоустроенных стран или просто ускорять сроки малоэтажного, в том числе дачного, домостроения.

Помимо актуальных направлений в современном строительстве и новых технологий по их реализации нельзя не упомянуть о современных строительных материалах, позволяющих решать различные проблемы инженерной науки, прежде всего о композитных материалах. Какие-то материалы только тестируются, другие уже активно применяются на строительных площадках. Фибробетон, полистиролбетон, пеностекло, разные типы проникающей гидроизоляции и др. – без появления некото-

рых из этих материалов невозможно было бы осуществление многих актуальных проектов.

В современном мире огромное значение имеют компьютерные технологии, которые позволяют сокращать сроки и трудозатраты на расчет и проектирование зданий и сооружений, например, параметрические компьютерные программы, Building Information Modeling (BIM): Tekla® Structures, Autodesk® Revit® Structure, Autodesk® AutoCAD® Structural Detailing, упрощающие процесс инженерного проектирования. Расчетные программные комплексы (SCAD, ЛИРА-САПР2014, Ansys и др.) позволяют рассчитывать «коробку» здания целиком с учетом действия различных нагрузок, импортируя схемы зданий из других программ. Существует также множество специализированных расчетных программ, например, AutoCAD Electrical, AutoCAD Model Studio CS и др. При разработке современных программ важным параметром становится возможность их совмещения с другими программами. Развитие компьютерных технологий также отражается на современном оборудовании, используемом при возведении, эксплуатации и мониторинге зданий и сооружений.

Можно сделать вывод, что в связи с новыми архитектурными тенденциями и усовершенствованием компьютерных технологий в строительной сфере остаются еще перспективы для развития, как в части технологий возведения зданий и появления новых строительных материалов, так и в части расчетных и проектных средств, а также научных изысканий. Востребованность специалистов инженерно-строительных специальностей на российском рынке труда не вызывает сомнений, однако, как сказал в мастер-классе международной молодежной научной конференции «Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций» [1], прошедшей в ноябре 2014 года на базе кафедры Прочности материалов и конструкций, академик РААСН Бондаренко В.М. «в ближайшем будущем отпадет потребность в инженерах среднего звена, так как их с успехом заменят вычислительные машины... однако, то, что заложено в любой программе – это уже устаревшее... Мы входим в период, когда нужно искать таланты в инженерной среде, таланты, способные разрабатывать новые методы и теории, и именно они будут востребованы как на производстве, так и в науке».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: Труды Международной молодежной научной конференции. Москва, 18-21 ноября 2014 г. – М.: Изд-во РУДН, 2014. – 346 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ

В.А. Баженов, д.т.н.

О.П. Кривенко, к.т.н.

Кафедра строительной механики
Киевский национальный университет строительства и архитектуры
Воздухофлотский пр., 31, Киев-37, Украина, 03680

Изложены основы метода решения статических задач геометрически нелинейного деформирования и устойчивости упругих неоднородных оболочек сложной формы и структуры при действии термосилового нагружения. Рассмотрены задачи, на которых исследованы особенности термоупругого деформирования, потери устойчивости и закритического поведения тонких оболочек неоднородной структуры при действии термосилового нагружения.

Ключевые слова: тонкая неоднородная оболочка, геометрически нелинейное деформирование, устойчивость, термосиловое нагружение.

Оболочечные системы, широко применяемые в разных областях современной техники, могут совмещать в себе разнообразную конструктивную неоднородность: многослойную структуру материала, ребра и накладки, выемки и каналы, отверстия, местные утолщения и утончения, изломы срединной поверхности и другие особенности. В процессе эксплуатации оболочки могут находиться в сложных условиях действия силовых нагрузок и температурных полей. Температурные поля могут вызывать существенные деформации оболочки, влиять на ее напряженно-деформированное состояние (НДС) и устойчивость, стать важным фактором, определяющим несущую способность конструкции.

Разработан с единых методологических позиций трехмерной теории термоупругости конечноэлементный метод исследования процессов нелинейного деформирования, потери устойчивости и закритического поведения широкого класса тонких неоднородных оболочек сложной формы и структуры при действии силовых и температурных нагрузок [1-3]. Использована модель линейно упругой сплошной среды, свойства которой отвечают обобщенному закону Дюамеля–Неймана. Разрешающие соотношения получены на основе моментной схемы конечных элементов (МСКЭ) для тонких неоднородных оболочек. Под неоднородностью оболочки понимаются ее геометрические особенности в виде гладко- и ступенчато-переменной толщины и структурные неоднородности материала по толщине и в плане в виде комбинации многослойных пакетов (рис. 1, а). Тонкая оболочка, рассматриваемая как трехмерное тело, на

всех участках моделируется по толщине одним изопараметрическим пространственным конечным элементом (КЭ) с полилинейными функциями формы (рис. 1, б, в; $x^{i'}$, x^k – координаты глобальной декартовой и местной косоугольной систем, ось x^1 направлена по толщине, не обязательно по нормали к срединной поверхности). Введение в КЭ дополнительных переменных параметров позволило построить единую расчетную модель, учитывающую неоднородность материала и геометрические особенности конструктивных элементов гибкой оболочки. Задавая разные значения дополнительных геометрических параметров, КЭ можно сделать ступенчато увеличенной толщины (рис. 1, з) на участках оболочки с подкреплениями или ступенчато уменьшенной толщины (рис. 1, д) на участках с ослаблениями, расположить эксцентрично относительно срединной поверхности обшивки оболочки. Особенности НДС тонкой неоднородной оболочки учтены применением двух гипотез: о постоянстве нормальных напряжений обжатия волокон слоев в направлении толщины и деформируемой прямой.

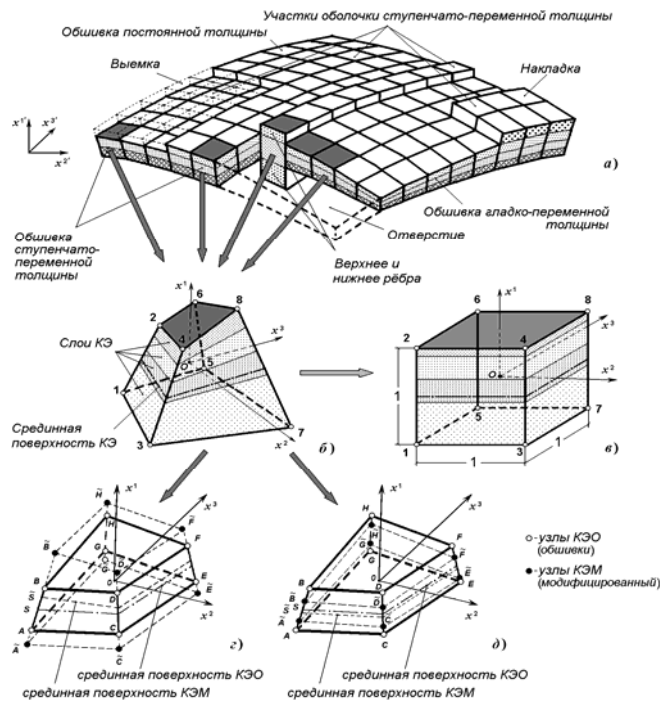


Рис. 1. Конечноеэлементное моделирование оболочки неоднородной структуры

Исследование нелинейных решений при совместном действии на оболочку температурных и силовых нагрузок выполнено на примере шарнирно опертой по контуру квадратной в плане сферической панели. Обшивка панели толщиной h ослаблена четырьмя перекрестными каналами шириной $b_k = 2h$ и глубиной $h_k = 0.3h$ [6]. Оси каналов расположены на расстоянии $a/3$ от контура оболочки. Кривизна оболочки определяется параметром $K = 2a^2/(Rh) = 32$. Принято: $a = 60h$ – размер панели в плане, $R = 225h$ – радиус, $h = 1$ см – толщина, $E = 2.1 \cdot 10^6$ кг/см², $\nu = 0.3$, $\alpha = 0.12 \cdot 10^{-4}$ град⁻¹. Используются безразмерные параметры $\bar{q} = a^4 q / (Eh^4)$, $\bar{u}' = u' / h$.

Предварительно нагревая оболочка нагружается равномерным нормальным давлением интенсивностью q . Изучалось влияние на нелинейное деформирование и потерю устойчивости пологой панели двух факторов: расположения каналов на обшивке и разных вариантов термосилового нагружения.

Сравнивалось три способа расположения каналов относительно срединной поверхности обшивки оболочки: 1) на внутренней стороне обшивки (■); 2) на внутренней и внешней сторонах симметрично к срединной поверхности (■); 3) на внешней стороне (■). Для всех способов расположения каналов величины объемов ослаблений были одинаковыми.

Для каждого способа расположения каналов рассмотрено четыре варианта комбинированного действия на панель давления и равномерного нагрева оболочки на T^o градусов и ребер на T^k градусов. В первом варианте нагружения на панель действовало только давление (на рисунках соответствующие кривые обозначены надписью 1. q). Во втором – каналы нагревались на $T^k = 40^\circ\text{C}$, а обшивка при этом оставалась ненагретой (2. $q + T_{40}^k$). В третьем – обшивка нагревалась на $T^o = 40^\circ\text{C}$, а каналы оставались ненагретыми (3. $q + T_{40}^o$). В четвертом – каналы и обшивка нагревались вместе на $T^k = 40^\circ\text{C}$ и $T^o = 40^\circ\text{C}$ (4. $q + T_{40}^k + T_{40}^o$).

1. Для первого варианта нагружения (1. q) выполнен сравнительный анализ результатов исследований нелинейного деформирования оболочек при использовании трех программных комплексов (ПК), основанных на МКЭ: реализующий МСКЭ, ЛИРА 9.6 и SCAD 11.5, (рис. 2). При моделировании геометрических особенностей оболочек в виде эксцентричных

ребер и каналов в ПК ЛИРА и SCAD применяются специальные элементы [7, 8]. Применение указанных элементов для расчета панелей ступенчато-переменной толщины можно найти в [4].

Для оболочки без эксцентричного расположения каналов (■) наблюдается хорошее совпадение диаграмм “нагрузка – прогиб” (“ $\bar{q} - \bar{u}^I$ ”) центра панели, полученных по трем ПК. Для панелей с эксцентричным ослаблением (■; ■) наблюдается некоторое расхождение диаграмм, полученных по ПК SCAD, с решениями МСКЭ и ПК ЛИРА.

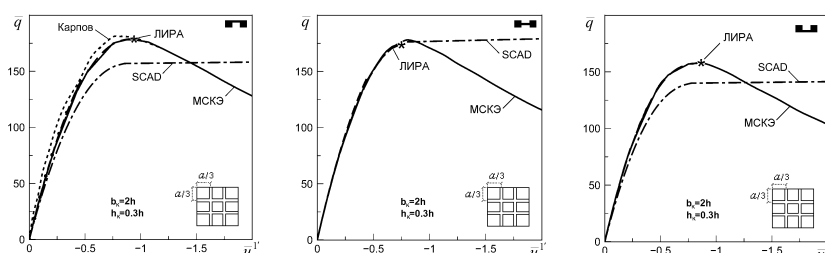


Рис. 2. Сравнение решений для панелей при действии давления

Для оболочки с ослаблением, расположенным со стороны вогнутости панели (с ее внутренней стороны) (■; рис. 2), выполнено сравнение с решением работы [9]. Наблюдается хорошее совпадение диаграмм МСКЭ и ПК ЛИРА с решением [9] и некоторое расхождение для ПК SCAD.

Полученное расхождение решений можно объяснить особенностями моделирования в ПК SCAD участков с эксцентриситетом. Расхождение решений по величине верхней критической нагрузки $\bar{q}_{кр}^e$ для ПК SCAD и МСКЭ не превышает 12%, а по прогибу центра панели $\bar{u}_{кр}^{I,e} - 2.7\%$ [4].

Наименьшее значение величины $\bar{q}_{кр}^e$ имеют оболочки с ослаблением, расположенным на внешней стороне обшивки (■).

2. Для четырех вариантов термосилового нагружения на рис. 3 изображена эволюция диаграмм “ $\bar{q} - \bar{u}^I$ ” в зависимости от способа размещения каналов на обшивке оболочки. Для всех вариантов нагрева расположение каналов на внутренней стороне обшивки (■) или симметрично (■) мало влияет на величину $\bar{q}_{кр}^e$ (расхождение в пределах 0.5 – 1.9% [6]). Наибольшее влияние на $\bar{q}_{кр}^e$ оказывает третий способ расположения каналов (■): величина $\bar{q}_{кр}^e$ уменьшается на 10 – 12% [6] по сравнению с первыми двумя способами.

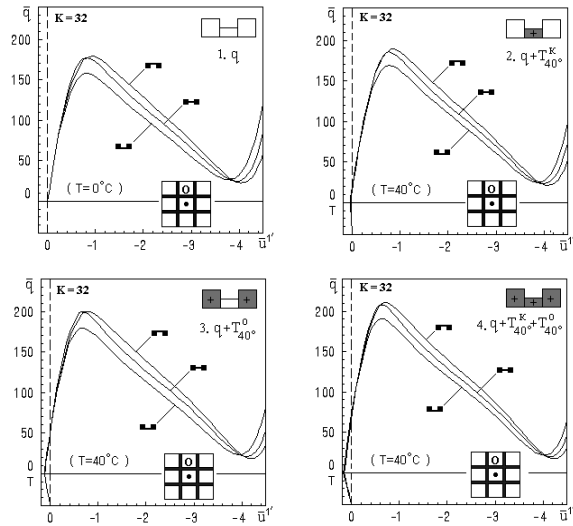


Рис. 3. Влияние на диаграммы способов расположения каналов

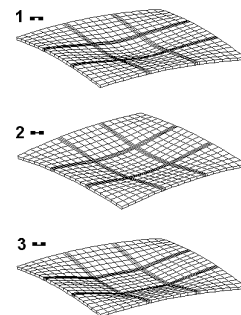


Рис. 4. Формы деформирования панели

3. Для трех способов расположение каналов на обшивке оболочки на рис. 5 показано изменение диаграмм “ $\bar{q} - \bar{u}^I$ ” в зависимости от варианта термосилового нагружения. Все варианты с нагревом приводят к увеличению жесткости оболочки. Как и ожидалось, этот эффект более всего проявляется при одновременном нагреве обшивки и каналов, меньше всего – при нагреве только каналов.

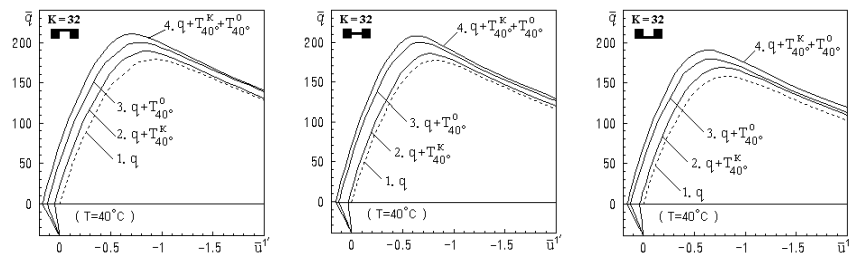


Рис. 5. Влияние на диаграммы вариантов нагрева

Деформирование и потеря устойчивости оболочек во всех случаях происходит по характерной для пологих панелей форме (рис. 4).

Можно сделать вывод, что величина $\bar{q}_{кр}^g$ для ослабленной каналами пологой панели возрастает с увеличением зоны нагрева, независимо от расположения рассмотренных каналов. Более устойчивой является панель с каналами, расположенными на ее внутренней стороне. Симметричное расположение каналов приводит к незначительному уменьшению $\bar{q}_{кр}^g$. Оболочки с каналами, расположенными с внешней стороны обшивки, обладают наименьшей несущей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Баженов В.А., Кривенко О.П., Соловей Н.А. Нелинейное деформирование и устойчивость упругих оболочек неоднородной структуры: Модели, методы, алгоритмы, малоизученные и новые задачи. – М.: КРАСАНД, 2013. – 336 с.
- [2] Bazhenov V. A., Solovei N. A. Nonlinear Deformation and Buckling of Elastic Inhomogeneous Shells under Thermomechanical Loads // Inter. Appl. Mech., 2009. – № 9. – Pp. 923-953.
- [3] Баженов В.А., Соловей Н.А., Кривенко О.П., Мищенко О.А. Моделирование нелинейного деформирования и потери устойчивости упругих неоднородных оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2014. – № 5. – С. 14-33.
- [4] Соловей Н.А., Кривенко О.П., Малыгина О.А. Конечноэлементные модели исследования нелинейного деформирования оболочек ступенчато-переменной толщины с отверстиями, каналами и выемками // Инженерно-строительный журнал, 2015. – № 1.
- [5] Баженов В.А. Анализ моделирования нелинейного деформирования и устойчивости упругих неоднородных оболочек в некоторых программных комплексах / В.А. Баженов, Н.А. Соловей, О.П. Кривенко и др. // Труды VI Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2013», Москва, 24–26 апреля 2013. – М.: РУДН, 2013. – С. 96-102.
- [6] Соловей М.О., Кривенко О.П., Калашников О.Б. Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 143-157.
- [7] Лира 9.4 Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. / Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговиц В.Е., Гензерский Ю.В. и др. – К.: изд-во «Факт», 2008. – 280 с.
- [8] Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD. – М.: СКАД СОФТ, 2009. – 656 с.
- [9] Ильин В.П., Карпов В.В. Устойчивость ребристых оболочек при больших перемещениях. – Л.: Стройиздат, 1986. – 168 с.

О ФОРМЕ ПОГРАНИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ

Г.А. Мануйлов, *к.т.н.*

С.Б. Косицын, *д.т.н.*

М.М. Бегичев, *к.т.н.*

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ),

Москва, Россия.

На примерах задач устойчивости круговых арок под действием двух нагрузок показаны особенности влияния типа критических точек на формы областей устойчивых сочетаний нагрузок.

Ключевые слова: пограничная кривая, предельная точка, устойчивость, бифуркация.

Задача исследования выпуклости (или невыпуклости) области устойчивых сочетаний нагрузок для линейных упругих систем была решена П.Ф. Папковичем в 1932 г. [1]. Для геометрически нелинейных задач, решение аналогичной проблемы оказалось значительно сложнее. Несколько теорем по этому поводу было сформулировано в работах К. Хусейна [2, 3]. В настоящей работе сделана попытка исследовать основные варианты возможных типов пограничных поверхностей в зависимости от их качественного состава (от типов критических точек, геометрическим местом которых является пограничная поверхность или кривая). Так как потеря устойчивости упругой системы может быть либо в предельной точке, либо в точке бифуркации [4], то пограничные поверхности или кривые могут быть трех типов:

1. Все точки пограничной поверхности есть точки бифуркации равновесия;
2. Все точки пограничной поверхности есть предельные точки;
3. Смешанный случай – среди точек пограничной поверхности есть как точки бифуркации так и предельные точки.

Если все точки пограничной поверхности геометрически нелинейной упругой системы, испытывающей симметричное докритическое равновесие есть точки бифуркации, то область устойчивых сочетаний нагрузок выпуклая [2]. Если все точки пограничной поверхности геометрически нелинейной упругой системы есть предельные точки и среди них нет ни одной точки бифуркации, то пограничная поверхность не может быть выпуклой в сторону области устойчивых сочетаний нагрузок [3]. Отсюда следует, что необходимое условие невыпуклости – наличие среди точек пограничной поверхности хотя бы одной точки бифуркации. Для случая нагружения системы двумя нагрузками это условие оказывается и достаточным. Наконец, если упругая система нагружена двумя нагрузками и

при потере устойчивости ведет себя как система с одной степенью свободы (потеря устойчивости в предельных точках весьма пологих арок или оболочек), то пограничная кривая невыпуклая [3]. Соотношение между нагрузками задавалось при помощи коэффициента k . В рассмотренных задачах использованы два набора значений этого коэффициента: $k=0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,33; 2,0; 4,0; \infty$ и $k=0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,66; 2,5; 5,0; \infty$.

Линейные задачи бифуркационной потери устойчивости упругих систем, для которых сформулированы теоремы Папковича иллюстрируются построением пограничных кривых для П-образной и Г-образной рам (рис. 1). Для свободной П-образной рамы эта кривая близка к прямой линии (рис. 1, а), тогда как для несвободной Г-образной рамы она оказывается весьма выпуклой (рис. 1, б).

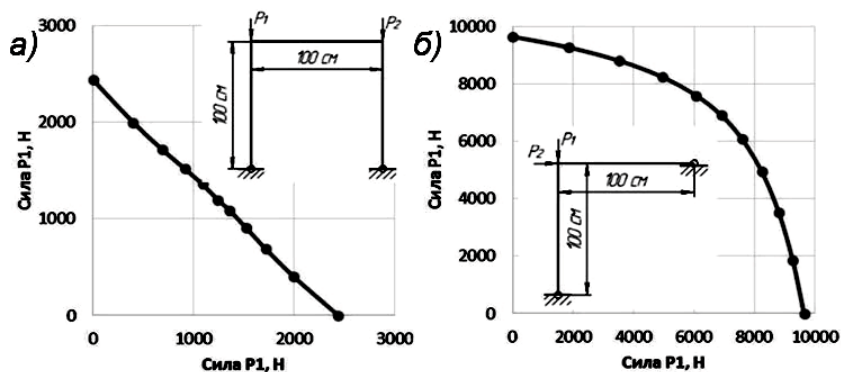


Рис. 1. Пограничные кривые критических сочетаний нагрузок: а) для П-образной рамы; б) для Г-образной рамы с двумя сжатыми стержнями.

Геометрически нелинейная задача устойчивости симметричной арки с углом раствора 20° под действием всевозможных комбинаций распределенной и сосредоточенной в вершине нагрузок порождает пограничную кривую в виде прямой линии (рис. 2, а), что фактически подтверждает сформулированную выше теорему К. Хусейна для симметричных систем. По сути это аналог теоремы Папковича. Но почти такая же прямая была построена для арки с углом раствора 6° , которая при всех комбинациях распределенной и сосредоточенной нагрузок теряет устойчивость в предельных точках и ведет себя как система с одной степенью свободы (рис. 2, б). Здесь более интересным оказался пример с этой же аркой ($2\alpha=6^\circ$), но нагруженной двумя симметрично приложенными в четвертях пролета вертикальными силами. Здесь все точки пограничной поверхности есть предельные точки. Поэтому, согласно теореме К. Хусейна [3], пограничная кривая должна быть невыпуклой, что и подтвердили расчеты по

МКЭ (рис. 3). Более подробный анализ изменения коэффициентов жесткости с инверсией их взаимного расположения приведен в статье авторов [5], опубликованной в этом же сборнике.

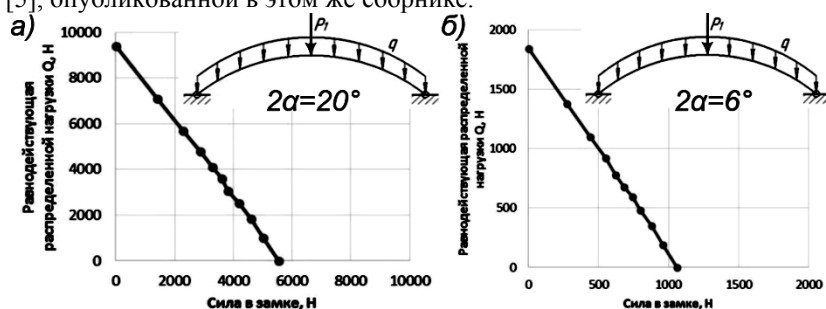


Рис. 2. Пограничные кривые для арок, нагруженных сосредоточенной вертикальной силой в замковом сечении и равномерно распределенной нагрузкой: а) пограничная кривая для арки с углом раствора $2\alpha=20^\circ$; б) пограничная кривая для арки с углом раствора $2\alpha=6^\circ$.

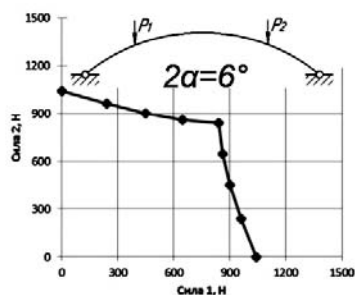


Рис. 3. Пограничная кривая для арки с углом раствора

Стандартный вариант пограничной кривой (поверхности), составленной целиком из предельных точек дает двухшарнирная круговая арка с углом раствора $2\alpha=20^\circ$, нагруженная двумя сосредоточенными силами в точках расположенными с одной стороны от ее вершины (рис. 4, а). Однако, стоит появиться лишь одной точке бифуркации в составе точек пограничной кривой, как эта кривая становится невыпуклой. Это имело место для той же двухшарнирной круговой арки ($2\alpha=20^\circ$), нагруженной силой в вершине и второй силой в четверти ее пролета (рис. 4, б). Арка потеряла устойчивость по типу бифуркации равновесия, когда сила в четверти пролета была равна нулю.

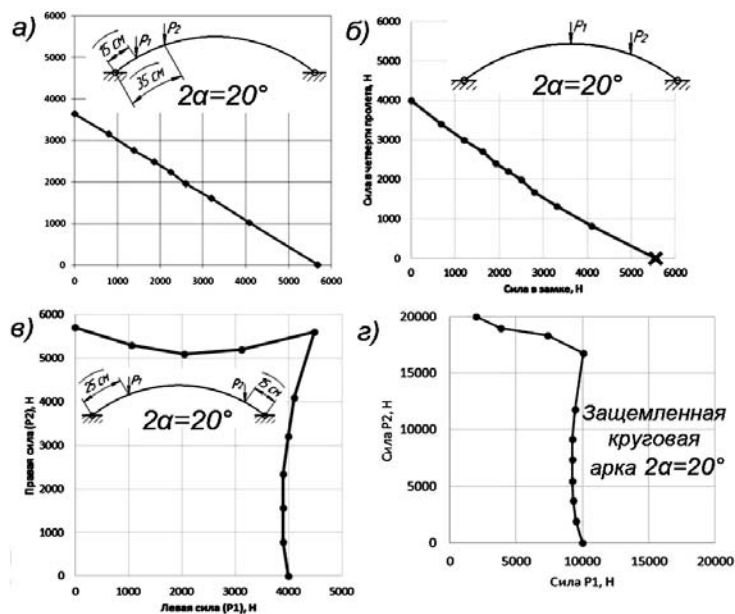


Рис. 4. Пограничные кривые для арок с углом раствора $2\alpha=20^\circ$: а) нагруженной двумя сосредоточенными силами, приложенными к левой половине арки; б) нагруженной сосредоточенной силой в замке и в четверти пролета; в) нагруженная двумя силами несимметрично; г) нагруженная двумя силами несимметрично с заделанными концами.

Точно также пограничная кривая для этой же арки, построенная для случая действия несимметричной приложенных двух сосредоточенных сил оказалась невыпуклой (рис. 4, в), поскольку при соотношении между силами $P_2=1,2351P_1$ арка теряла устойчивость в точке бифуркации [5]. Аналогичная бифуркационная потеря устойчивости имеет место для этой же арки с защемленными концами (рис. 4, г) при $P_2=1,67P_1$, из за чего пограничная кривая невыпуклая.

Для более подъемистой двухшарнирной круговой арки ($2\alpha=90^\circ$), нагруженной различными комбинациями симметрично расположенных в четвертях пролета двух сосредоточенных сил (рис. 5, а) потеря устойчивости происходит в предельных точках за исключением случая, когда эти силы равны друг другу. В этом симметричном варианте нагружения арка теряет устойчивость в точке симметричной неустойчивой бифуркации. Пограничная кривая в этой задаче из-за наличия в ее составе бифуркации оказалась невыпуклой (рис. 5, а).

Особый случай – полукруговая двухшарнирная арка, нагруженная двумя сосредоточенными силами в четвертях пролета. При одинаковых

силах потеря устойчивости происходит в точке симметричной устойчивой бифуркации, после которой арка вторично теряет устойчивость уже в предельной точке (острие пограничной кривой на рис. 5, б). Другие точки пограничной кривой – предельные точки, соответствующие потере устойчивости этой арки при неодинаковых нагрузках.

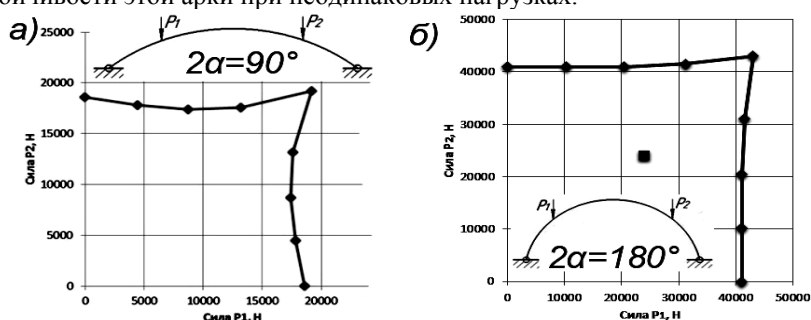


Рис. 5. Пограничные кривые для арок нагруженных двумя силами симметрично в четвертях пролета: а) с углом раствора $2\alpha=90^\circ$; б) с углом раствора $2\alpha=180^\circ$.

В этой задаче область устойчивых сочетаний нагрузок невыпуклая и более того, она внутри себя содержит изолированную критическую точку симметричной бифуркации. Этот особый случай не подпадает под формулировку теорем Хусейна и требует дальнейшего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Папкович П.Ф. Труды по строительной механике корабля. – Л.: Судостроение. – 1963 г., 552 с.
- [2] Huseyin K. The elastic stability of structural systems with independent loading parameters. // Int. J. Solids Structures. – Vol. 6. 1970, p. 677-691.
- [3] Huseyin K. The convexity of the stability boundary of symmetric structural systems. // Acta mechanica, 8. – 1969, p. 205-211.
- [4] Иосс Ж, Джозеф Д. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций. – М.: Мир. – 1983 г., 300 с.
- [5] Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М. О предельных точках и точках бифуркации в задачах устойчивости равновесия упругих систем. // Труды Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2015», М.: РУДН, 2015 г.
- [6] Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М. Исследование устойчивости круговых двухшарнирных арок с учетом влияния начальных несовершенств. // Строительная механика и расчет сооружений. № 1, 2009. С. 17 – 23.

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В РАСТЯНУТОМ СТЕРЖНЕ В ОБЛАСТИ ЗАДЕЛКИ

Н.М. Якупов¹, *д.т.н.*

А.И. Ризаева²

А.Э. Хуснутдинов²

А.Ш. Муджаиди²

1- ИММ КазНЦ РАН, ул. Лобачевского 2/31

г. Казань, РФ, 420111

2 - КГАСУ, 420043

г. Казань, ул. Зеленая, д.1

На базе программного комплекса «ЛИРА-САПР 2014» приводятся результаты численного исследования плоского стержня, закрепленного на одном торце, под действием равномерного растяжения. Выявлены области концентрации напряжений. Исследовано влияние жесткости опорной части на распределение напряжений.

Ключевые слова: плоский стержень, балка-стенка, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, жесткость опорной части

Конструкции и сооружения предназначены для выполнения определенных функций в течение заданного срока. Если природные конструкции восхищают нас своим изяществом и уникальным совершенством, то рукотворные - весьма далеки от этого. Конструкции, созданные человеком, к сожалению, далеки от совершенства и они нередко разрушаются до установленного срока эксплуатации [1].

Почему конструкции разрушаются? Причины разрушения конструкций могут быть разные. Одной из наиболее существенных причин является наличие концентраторов напряжений [1,2].

Для обеспечения безопасной работы конструкций и сооружений необходимо, помимо общего анализа напряженно-деформированное состояние конструкций, особое внимание уделять области крепления рассматриваемых элементов к общей системе.

Вопросы распределения напряжений в области крепления относительно мало изучены. В этих областях могут возникнуть существенные концентрации напряжений, являющиеся предвестниками разрушения. Развитие современных методов расчета и рост возможностей вычислительной техники позволяет уточнять расчетные схемы, что позволяет более точно оценивать напряженно-деформированное состояние конструкций и сооружений, с учетом зон концентраций напряжений.

Методика исследования. Для выявления закономерностей распределения напряжений и перемещений в области заделки

использовалась учебная версия программы «ЛИРА-САПР 2014» [3]. Применялись четырех узловые плоские конечные элементы с линейной аппроксимацией искомым перемещений.

Объект исследования. Выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния стержня в виде балки-стенки толщиной 2см и длиной 20см, под действием равномерно распределенной нагрузки на одном торце ($q = 2000$ кг/см) и закрепленной на другом торце.

Рассматривались случаи: жесткая заделка, т.е. все перемещения в точках крепления (на торце) приравнялись к нулю (Часть 1) и податливая заделка, когда учитываются жесткостные характеристики опоры (Часть 2).

Часть 1. Рассматривался два варианта стержня (расчетная схема на рис.1):

- высота 8см при разбиении по вертикали 20, а по горизонтали 40 конечных элементов;
- высота 7см при разбиении по вертикали 14, а по горизонтали 40 конечных элементов.

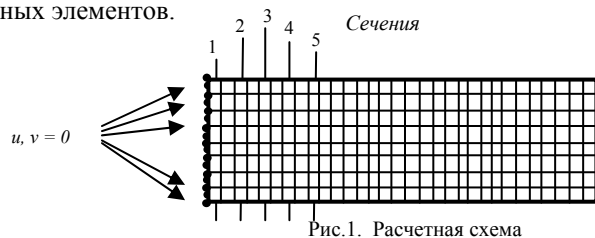


Рис.1. Расчетная схема

Результаты численных исследований. Определены поля перемещений u и v (рис.2, рис.3) и напряжений стержня (балки-стенки). Продольные напряжения σ_x представлены в таблицах 1 и 2, а также на рис.4 и 5. Характер изменения σ_y представлен на рис.6.

Наименьшие перемещения имеют конечные элементы в зоне заделки, а в области приложения растягивающей нагрузки наблюдаются максимальные величины. При этом перемещения по горизонтали достигают 0,02см (рис.2). Также наблюдается сужение стержня (рис.3).



Рис.2. Изополя перемещений u

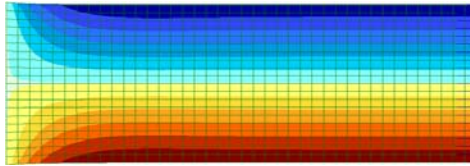


Рис.3. Изополя перемещений v

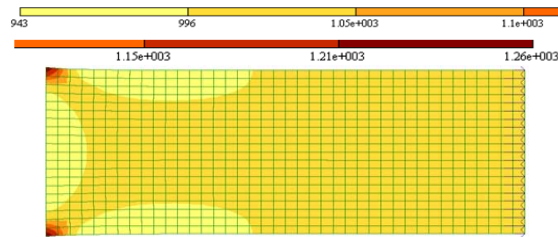


Рис.4. Изополя напряжений σ_x (при высоте 8 см)

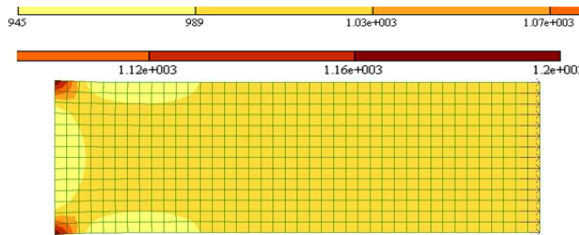


Рис.5. Изополя напряжений σ_x (при высоте 7 см)

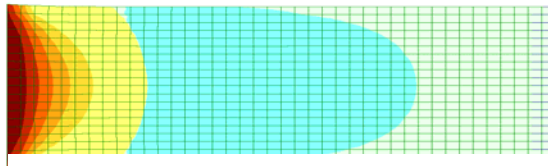


Рис.6. Изополя напряжений σ_y (при высоте 8 см)

Как видно из таблиц 1 и 2, а также из рис.3 в зоне закрепления наблюдается концентрация напряжений: 26% при высоте сечения 8 см; 20,4% при высоте сечения 7 см.

Под действием растягивающих напряжений при уменьшении высоты стержня на 12,5% максимальные напряжения снижаются на 5,6%.

Таблица 1.

Напряжения σ_x , при высоте сечения 8 см.

$\sigma_x(\text{кг/см}^2)$										
Сеч.1	1260	1059	1003	976	962	954	949	946	944	944
	944	944	946	949	964	962	976	1003	1059	1260
Сеч.2	983	1025	1029	1016	1005	996	990	986	983	982
	982	983	986	990	996	1005	1016	1029	1025	983
Сеч.3	943	978	999	1010	1013	1013	1012	1010	1009	1008
	1008	1009	1010	1012	1013	1013	1010	999	978	943
Сеч.4	947	968	986	999	1008	1013	1017	1018	1019	1020
	1020	1019	1018	1017	1013	1008	999	986	968	947
Сеч.5	960	973	985	995	1003	1009	1014	1017	1019	1020
	1020	1019	1017	1014	1009	1003	995	985	973	960

Таблица 2.

Напряжения σ_x , при высоте сечения 7 см.

$\sigma_x(\text{кг/см}^2)$							
Сеч.1	1204	1016	977	959	951	947	945
	945	947	951	959	977	1016	1204
Сеч.2	980	1021	1018	1004	995	990	988
	988	990	995	1004	1018	1021	980
Сеч.3	949	986	1006	1013	1015	1014	1013
	1013	1014	1015	1013	1006	986	949
Сеч.4	956	979	997	1009	1016	1019	1021
	1021	1019	1016	1009	997	979	956
Сеч.5	970	983	995	1004	1011	1016	1018
	1018	1016	1011	1004	995	983	970

Часть 2. Для изучения концентрации напряжений в области заделки стержня был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния системы: стержень в виде балки-стенки 1 и опорная часть в виде балки-стенки 2, закрепленной по трем кромкам (рис.7).

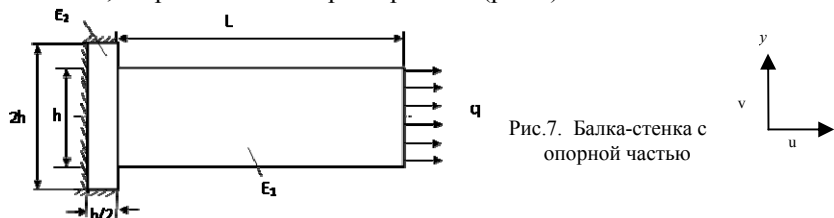


Рис.7. Балка-стенка с опорной частью

При этом варьировались модули упругости балки-стенки 1 и опорной части 2: $E_1 = 1000000 \text{ кг/см}^2$, $E_2 = 1000000 \text{ кг/см}^2$; $E_1 = 1000000 \text{ кг/см}^2$, $E_2 = 2000000 \text{ кг/см}^2$.

Результаты исследований. Определены поля перемещений u и v и напряжений. Продольные напряжения σ_x представлены на рис.8 и 9.

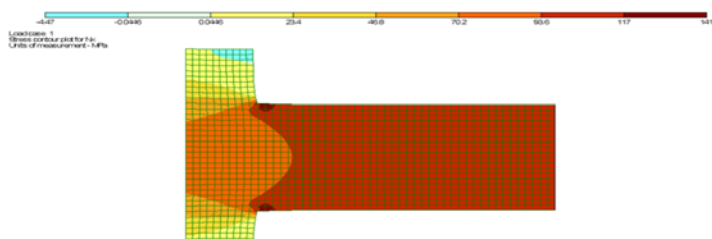


Рис.8. Изополя напряжений σ_x ($E_1 = 1000000 \text{ кг/см}^2$, $E_2 = 1000000 \text{ кг/см}^2$)

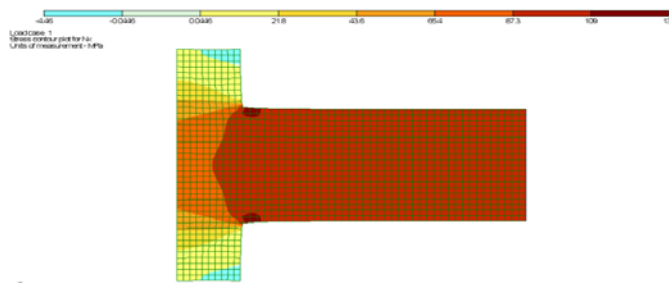


Рис.9. Изополя напряжений σ_x ($E_1 = 1000000 \text{ кг/см}^2$, $E_2 = 2000000 \text{ кг/см}^2$)

Как видно из рис.8 и 9 в области стыка наблюдается существенное перераспределение напряжений, при этом жесткостные характеристики опорной части играют важную роль.

Максимальная концентрация напряжений σ_x :

- при 1 варианте $E_1 = 1000000 \text{ кг/см}^2$, $E_2 = 1000000 \text{ кг/см}^2$ – 54%
- при 2 варианте $E_1 = 1000000 \text{ кг/см}^2$, $E_2 = 2000000 \text{ кг/см}^2$ – 43%

При снижении отношения модулей упругости на E_2/E_1 на 200% максимальные напряжения σ_x снижаются всего на 92,86% .

В области заделки наблюдается существенная концентрация напряжений в отличие от расчета по формулам сопротивления материалов.

Учет характеристик жесткости опорной части существенно сказывается на значениях и характере распределения напряжений в опорной части.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Якупов Н.М. Механика: проблема – идея – практика. КГУ, 2010. 161 с.
- [2] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М. и др. // Газовая промышленность. №7, 2013. С.28-30.
- [3] Гензерский Ю.В. и др. Лира-САПР 2011. Учебное пособие. Электронное издание.

ЛЕЧАЩИЕ НАКЛАДКИ ВО ФРАГМЕНТЕ ТОРОИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ

С.Н. Якупов, *к.т.н.*

А.А. Абдюшев, *к.т.н.*

Н.М. Якупов, *д.т.н.*

Лаборатория нелинейной механики оболочек ИММ КазНЦ РАН
ул. Лобачевского 2/31, г. Казань, РФ, 420111

В области дефектов возникает концентрация напряжений. Активные и пассивные накладки позволяют снизить всплеск напряжений. Отмечены некоторые данные по активным накладкам. На базе численных экспериментов показана эффективность использования накладок в тороидальных оболочках.

Ключевые слова: конструкция, тонкостенный элемент, тороидальная оболочка, дефект, концентрация напряжений, активные и пассивные накладки

Для обеспечения безопасной работы конструкций и сооружений необходимо поддерживать в их элементах уровень напряжений, не превышающих допустимую величину. Появление в процессе эксплуатации конструкций различных локальных дефектов приводит к концентрации напряжений в этой области, что является предвестником разрушения [1]. Наиболее опасными локальными концентраторами напряжений являются щели и трещины [2-9].

Концентрацию напряжений в области локального дефекта можно снизить путем установки пассивных и активных накладок [10-13], используя идеи патентов. Пассивные накладки – накладки из обычного конструкционного материала, устанавливаемые в районе дефекта – воспринимают часть нагрузки и тем самым разгружают область дефекта, то есть снижают уровень концентрации напряжений. Некоторые результаты исследования влияния пассивных накладок на напряженно-деформированное состояние плоских панелей рассмотрены в работах [6-9]. Пассивные накладки дают определенный эффект и имеют право на существование. Однако более эффективным способом лечения дефектов является способ использования активных накладок – специальных накладок, которые, после их срабатывания, создают сжимающие усилия в установленной области [10-13].

Для подтверждения эффективности способа ремонта трещин (щелей) на плоских панелях по патентам на изобретение [10,11] было проведено исследование влияния активных «лечащих» накладок на напряженно-деформированное состояние панели с щелью [6-9].

Вопросы применения активных и пассивных накладок в трубопроводах рассмотрены в [14,15].

В данной работе изложены некоторые вопросы, касающиеся активных накладок «Кыскач» [12] и «Тыкмач» [13], а также приведены некоторые расчетные формулы. Для подтверждения эффективности лечащих накладок проведены численные эксперименты.

Активные накладки. Устройства для ремонта элементов конструкций с локальными дефектами «Кыскач» (рис.1) и «Тыкмач» (рис.2).

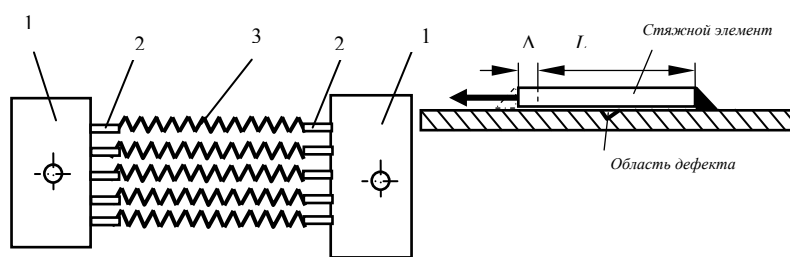


Рис.1

Рис.2

В устройстве «Кыскач» (рис.1) имеется пружинная вставка, которая закреплена в фиксирующей рамке, временно удерживающей пружинную вставку в предварительно растянутом заряженном состоянии до его запуска в работу.

Способ заключается в закреплении крепежных элементов на конструкции в области локального дефекта и создании усилий сжатия при помощи пружинных вставок. Пружинную вставку предварительно растягивают, фиксируют его в растянутом (заряженном) состоянии и закрепляют опорные концы заряженного устройства на противоположных от дефекта бездефектных областях детали. Далее запускают в работу пружинную вставку устройства, удалив фиксирующие элементы. Пружинную вставку устройства предварительно растягивают на величину, которую определяют из условия компенсации силы, потерянной в дефектном участке по формуле:

$$\Delta L = \beta \frac{\int \sigma dS_{def}}{\sum_1^n k_i} \quad (1)$$

В устройстве «Тыкмач» (рис.2) имеется стяжной элемент, который удлиняется при нагревании. Способ осуществляют следующим образом: подготавливают поверхность конструкции вблизи дефектной области для крепления стяжного элемента и стяжной элемент; приваривают или жестко прикрепляют один из концов стяжного элемента на один из берегов дефектного участка, например, трещины. Далее обеспечивают упругое удлинение стяжного элемента (накладки) на заданную длину, например, путем нагревания и тем самым заряжают стяжной элемент потенциальной энергией. Удлинение стяжного элемента может быть осуществлено путем пропускания электрического тока через перемычку. Режим нагрева выбирают исходя из формулы:

$$T = \beta(1 - \nu) \frac{\int \sigma dS_{def}}{\alpha EF} + T_{os} \quad (2)$$

где T – максимальная температура нагрева стяжного элемента; β – коэффициент, определяющий необходимую степень компенсации потери несущей способности; ν – коэффициент Пуассона для материала стяжного элемента; σ – напряжение в конкретной точке бездефектной области в районе рассматриваемого дефекта (при отсутствии дефекта) в направлении компенсации действующего усилия; S_{def} – площадь дефектной области, перпендикулярной направлению компенсации действующего усилия; α – температурный коэффициент линейного расширения; E – модуль упругости материала стяжного элемента; F – площадь поперечного сечения стяжного элемента; T_{os} – исходная температура стяжного элемента.

Удлинение рабочей части (перемычки) стяжного элемента определяют по формуле:

$$\Delta L = \alpha L \frac{T - T_{os}}{1 - \nu} \quad (3)$$

где L – исходная длина рабочей части (перемычки) стяжного элемента.

Анализ фрагмента тороидальной оболочки с дефектом. Ниже приведены некоторые результаты численного расчета фрагмента тороидальной оболочки с цилиндрическим продолжением (рис.3). Во внутренней части тороидального участка имеется сквозной дефект в виде продольной щели (случай Б). Для анализа напряженно-деформированного состояния используется метод конечных элементов (комплекс ЛИРА-ПК, КЭ 44). Сквозные дефекты моделировались освобождением связей в узлах, через которые проходит дефект. На рис.4 представлены нормальные окружные

напряжения в срединной поверхности оболочки без дефекта, которые меняются от 431 МПа до 623 МПа.

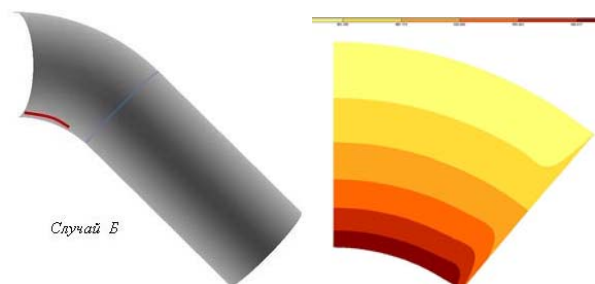


Рис.3

Рис.4

На рис.5 приведена зависимость интенсивности напряжений от величины продольной щели на внутренних (верхняя кривая) и наружных волокнах (нижняя кривая).

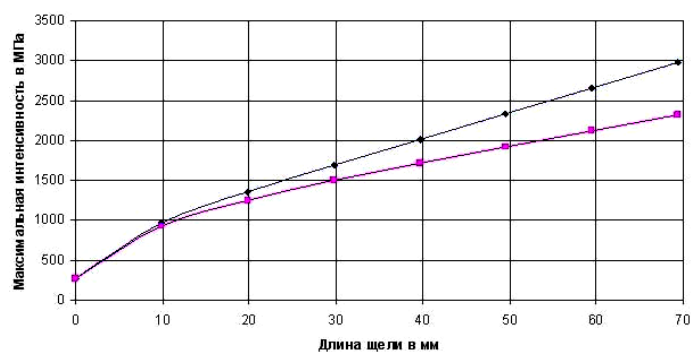


Рис.5

На рис.6 приведена зависимость изменения максимальных значений интенсивностей напряжений на внутренних (верхняя кривая) и наружных волокнах (нижняя кривая) от толщины пассивной накладки для случая максимальной длины, рассмотренной щели.

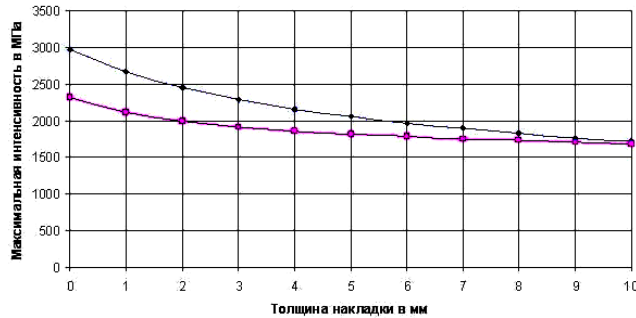


Рис.6

На рис.7 приведена зависимость изменения максимальных значений интенсивностей напряжений на внутренних (нижняя кривая) и наружных волокнах (верхняя кривая) от величины обобщенной сжимающей силы для случая активной накладки максимальной рассмотренной толщины.

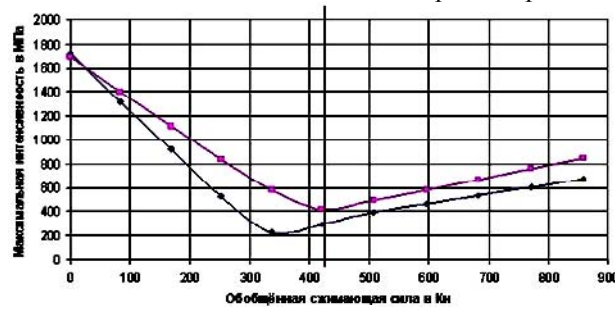


Рис.7

Контакт берегов дефекта обеспечивается при значении эффективного усилия 430 кН, что соответствует нагреванию накладки при монтаже на 410 градусов.

В области локальных дефектов возникает концентрация напряжений. Для «лечения» локальных дефектов необходимо использовать «лечащие» накладки. Установкой активных «лечащих» накладок в области дефекта, можно влиять на распределение и величину экстремальных напряжений в области дефекта. Численные исследования показывают эффективность использования «лечащих» накладок, особенно активных накладок.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Collins J.A. Failure of Materials in Mechanical Design. Analysis, Prediction, Prevention. The Ohio State University. New York: J. Wiley & Sons, 1981.

- [2] Якупов Н.М. Механика: проблема – идея – практика. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. 161 с.
- [3] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. Проблемы безопасности трубопроводов // Газовая промышленность. 2012. № 9. С.14-18.
- [4] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. Проблемы безопасности трубопроводов // Газовая промышленность. 2013. Приложение. С.11-15.
- [5] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. Концентрация напряжений в трубе с протяженным углублением // Газовая промышленность. №7, 2013. С.28-30.
- [6] Абдюшев А.А., Якупов Н.М. Исследование влияния активных и пассивных лечащих накладок на напряженно-деформированное состояние панели с трещиной // Вестник КГТУ. №4, 2010. С.5-9.
- [7] Якупов Н.М., Абдюшев А.А., Якупов С.Н. и др. Локальные «лечащие» накладки-покрытия // Коррозия «Территория «НЕФТЕГАЗ» №1 (18), 2011. С.68-71.
- [8] Якупов Н.М., Абдюшев А.А., Якупов С.Н. Подходы решения проблем безопасности конструкций // Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. 2011. №4, ч.4. С.1894-1896.
- [9] Якупов Н.М., Абдюшев А.А. Параметрическое исследование лечащих накладок средствами расчетного комплекса ЭРА-ПК2000 // Известия КГАСУ. №2 (8)/ 2007. С.61-64.
- [10] Якупов Н.М., Якупов С.Н. Мифтахутдинов И.Х. и др. Способ ремонта трещин в тонкостенных оболочечных конструкциях // Патент на изобретение №2310791. Бюл. №32. Оpubл. 20.11.2007.
- [11] Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г. и др. Крепежный элемент «ЯМСИ» // Патент на изобретение РФ №2380585. Бюл. №3. Оpubл. 27.01.2010.
- [12] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Способ задержки развития дефектов в конструкциях и устройство «КЫСКИЧ» для его осуществления // Патент на изобретение РФ №2500512. Бюл. №34. Оpubл. 10.12.2013.
- [13] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Способ задержки развития дефектов в конструкциях и устройство «ТОКМАЧ» для его осуществления // Патент на изобретение РФ №2519386. Бюл. №16. Оpubл. 10.06.2014.
- [14] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Велиулин И.И., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. «Лечение» дефектных областей трубопроводов // Наука и техника в газовой промышленности. №1 (57), 2014. С.68-75.
- [15] Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. // Газовая промышленность. №2, 2015. С.60-62.

**РАСЧЕТ ОСЕСИММЕТРИЧНО НАГРУЖЕННЫХ ВЕТВЯЩИХСЯ
ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ФИЗИЧЕСКОЙ
НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИМЕНЯЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ
ТЕОРИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ**

А.Ш. Джабраилов, к.т.н.

Волгоградский государственный аграрный университет
г. Волгоград, Россия

В работе для случая упругопластического деформирования ветвящейся оболочки вращения, реализована шаговая процедура нагружения. При учете физической нелинейности использованы основные гипотезы теории пластического течения.

Ключевые слова: оболочка вращения, матрица жесткости, конечный элемент, ветвящийся меридиан.

1. Основные соотношения теории оболочек вращения на шаге нагружения

Произвольная точка M^0 срединной поверхности оболочки вращения может быть представлена радиус-вектором

$$\vec{R}^0 = x\vec{i} + r \sin \theta \vec{j} + r \cos \theta \vec{k}, \quad (1)$$

где x - осевая координата; r - радиус вращения, являющийся функцией осевой координаты; θ - угол, отсчитываемый в кольцевом направлении от вертикального диаметра против хода часовой стрелки; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - орты декартовой системы координат.

Дифференцированием (1) по дуге меридиана S и криволинейной координате θ можно получить векторы локального базиса, касательные к срединной поверхности оболочки вращения в рассматриваемой точке

$$\begin{aligned} \vec{e}_1^0 &= \vec{R}_{,s}^0 = (\vec{i} + r_{,x} \sin \theta \vec{j} + r_{,x} \cos \theta \vec{k})x_{,s}; \\ \vec{e}_2^0 &= \vec{R}_{,\theta}^0 = (\cos \theta \vec{j} - \sin \theta \vec{k})r. \end{aligned} \quad (2)$$

Орт нормали в произвольной точке срединной поверхности определяется векторным произведением

$$\vec{a}^0 = \vec{e}_1^0 \times \vec{e}_2^0 / |\vec{e}_1^0 \times \vec{e}_2^0| = -r_{,s} \vec{i} + (\sin \theta \vec{j} + \cos \theta \vec{k})x_{,s}. \quad (3)$$

Используя основные соотношения теории тонких оболочек [1] и уравнения механики сплошной среды [2], можно получить соотношения для деформаций и искривлений точки срединной поверхности оболочки вращения за j шагов нагружения

$$\left\{ \varepsilon_{\alpha\beta} \right\}_{6 \times 1} = [M] \left\{ U \right\}_{\substack{6 \times 3 \\ 3 \times 1}}, \quad (4)$$

где $\left\{ \varepsilon_{\alpha\beta} \right\}^T = \{ \varepsilon_{11} \varepsilon_{22} 2\varepsilon_{12} \chi_{11} \chi_{22} 2\chi_{12} \}$, $\left\{ U \right\}^T = \{ u \ v \ w \}$; $[M]$ -

матрица дифференциальных и алгебраических операторов.

При решении задачи в геометрически линейной постановке соотношение (4) может быть записано в приращениях

$$\left\{ \Delta \varepsilon_{\alpha\beta} \right\}_{6 \times 1} = [M] \left\{ \Delta U \right\}_{\substack{6 \times 3 \\ 3 \times 1}}, \quad (5)$$

где $\left\{ \Delta \varepsilon_{\alpha\beta} \right\}^T = \{ \Delta \varepsilon_{11} \Delta \varepsilon_{22} 2\Delta \varepsilon_{12} \Delta \chi_{11} \Delta \chi_{22} 2\Delta \chi_{12} \}$;

$\left\{ \Delta U \right\}^T = \{ \Delta u \ \Delta v \ \Delta w \}$.

Деформации и приращения деформаций в точке, отстоящей на расстоянии ζ от срединной поверхности оболочки вращения, определяются следующими выражениями

$$\left\{ \varepsilon_{\alpha\beta}^{\zeta} \right\} = [\Gamma] \left\{ \varepsilon_{\alpha\beta} \right\}; \quad \left\{ \Delta \varepsilon_{\alpha\beta}^{\zeta} \right\} = [\Gamma] \left\{ \Delta \varepsilon_{\alpha\beta} \right\} \quad (6)$$

2. Соотношения между напряжениями и деформациями на шаге нагружения

Приращения полных деформаций на (j+1)-м шаге нагружения, согласно теории течения, могут быть представлены суммой приращений упругих и пластических деформаций[3]

$$\Delta \varepsilon_{11}^{\zeta} = (\Delta \sigma_{11} - \nu \Delta \sigma_{22}) / E + \frac{3}{2} \frac{\Delta \varepsilon_i^p}{\sigma_i} (\sigma_{11} - \sigma_0);$$

$$\Delta \varepsilon_{22}^{\zeta} = (\Delta \sigma_{22} - \nu \Delta \sigma_{11}) / E + \frac{3}{2} \frac{\Delta \varepsilon_i^p}{\sigma_i} (\sigma_{22} - \sigma_0);$$

$$\Delta \varepsilon_{12}^{\zeta} = (1 + \nu) \Delta \sigma_{12} / E + \frac{3}{2} \frac{\Delta \varepsilon_i^p}{\sigma_i} \sigma_{12}; \quad (7)$$

$$\Delta \varepsilon_{33}^{\zeta} = -\nu (\Delta \sigma_{11} + \Delta \sigma_{22}) / E - \frac{3}{2} \frac{\Delta \varepsilon_i^p}{\sigma_i} \sigma_0,$$

где E и ν - модуль упругости и коэффициент Пуассона; $\sigma_{\alpha\beta}$, $\Delta \sigma_{\alpha\beta}$ - полные напряжения и их приращения на (j+1)-м шаге нагружения; σ_i - интенсивность напряжения; $\Delta \varepsilon_i^p$ - интенсивность приращений пласти-

ческих деформаций; $\sigma_0 = (\sigma_{11} + \sigma_{22})/3$ – среднее нормальное напряжение.

Для определения величины $\Delta\varepsilon_i^p$ используется равенство[3]

$$\Delta\varepsilon_i = \Delta\varepsilon_i^e + \Delta\varepsilon_i^p. \quad (8)$$

В качестве элемента дискретизации используется треугольный фрагмент срединной поверхности оболочки вращения с узлами i, j, k , отображаемый для удобства численного интегрирования на прямоугольный треугольник с катетами единичной длины [4].

Пример расчета №1. В качестве тестового примера была решена задача по определению НДС жестко защемленного с левого торца и открытого с правого торца цилиндра, нагруженного внутренним давлением интенсивности q (Рис. 1). Были приняты следующие исходные данные:

$q = 2,5$ МПа, $\nu = 0,32$; $E = 7,5 \cdot 10^5$ МПа; радиус цилиндра $R_{ц} = 0,9$ м., длина цилиндра $L_{ц} = 0,8$ м., толщина оболочки $t = 0,01$

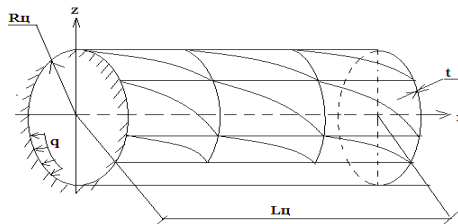


Рис.1

Диаграмма деформирования была принята с линейным упрочнением при использовании зависимости вида

$$\sigma_i = \sigma_0 + a(\varepsilon_i - \varepsilon_0), \text{ (при } \varepsilon_i > \varepsilon_0 \text{)} \quad (9)$$

где $\sigma_0 = 200$ МПа $\varepsilon_0 = 0,0023496$; $a = 180870,3$ МПа.

Вследствие наличия плоскостей симметрии рассматривалась $1/4$ часть цилиндра. Результаты расчетов представлены в виде эпюр нормальных

σ_{ss} , $\sigma_{\theta\theta}$ напряжений в опорном сечении цилиндра, при сетке узлов 80×10 и числе шагов нагружения равном 100 (Рис.2).

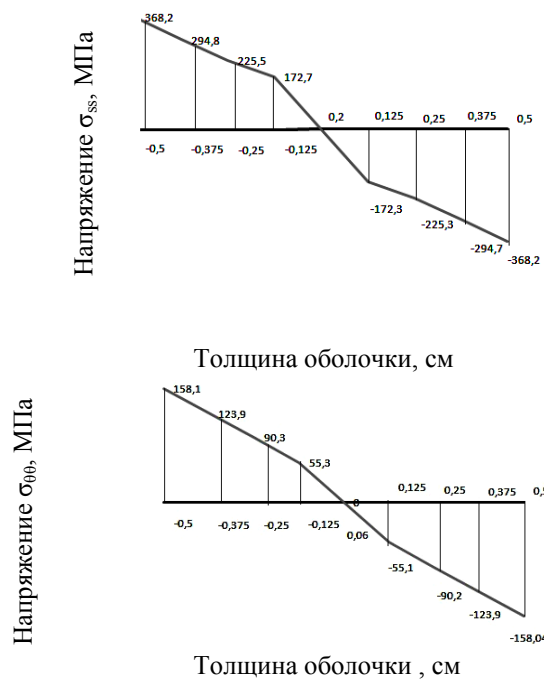


Рис. 2. Опорное сечение

Анализируя эпюру нормальных напряжений, представленную на рисунке 2 можно отметить, что опорное сечение находится в равновесии, так как площади эпюр растягивающих и сжимающих напряжений практически совпадают между собой.

На основании анализа эпюр напряжений можно сделать вывод о том, что разработанный алгоритм упруго-пластического расчета оболочек вращения с ветвящимся меридианом позволяет получать приемлемые по уровню точности значения напряжений и может быть рекомендован в расчетную инженерную практику.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Новожилов, В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 432 с.
- [2] Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1976. Т. 1. 535 с.
- [3] Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.

- [4] Джабраилов А.Ш., Клочков Ю.В., Николаев А.П. Конечно-элементный расчет оболочек вращения с ветвящимся меридианом. Известия вузов. Авиационная техника. №1. Казань, КГТУ, 2009.- с. 15-19.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНАХ СОЧЛЕНЕНИЯ ПЛАСТИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

А.П.Киселев, к.т.н.

Н.А. Гуреева, к.т.н.

Р.З. Киселева, к.т.н.

В.В. Леонтьева.

Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия
Волгоград, Россия

Для определения напряженно-деформированного состояния сочлененных пластин, находящихся в условиях плоского нагружения, используются объемные конечные элементы с поперечным сечением в форме четырехугольника и треугольника с узловыми неизвестными в виде перемещений и их производных. В узле пересечения пластин под произвольным углом α получены соотношения между узловыми неизвестными конечных элементов, относящихся к сочлененным пластинам

1. *Матрица жесткости треугольного конечного элемента.* Сечение объемного конечного элемента принимается в форме произвольного треугольника с узлами i, j, k . Для выполнения численного интегрирования использовано отображение произвольного треугольника в сечении пластинки на прямоугольный треугольник с локальными координатами a, b , интервалы, изменения которых приняты в пределах $0 \leq a, b \leq 1$.

Глобальные координаты x, z внутренней точки треугольного конечного элемента определяются через узловые значения координат линейными выражениями

$$\lambda = (1 - a - b)\lambda^i + a\lambda^j + b\lambda^k = \underbrace{\{\gamma\}^T}_{1 \times 3} \underbrace{\{\lambda_y\}}_{3 \times 1}, \quad (1.1)$$

где под λ понимаются координаты x, z в локальной системе координат;

$\underbrace{\{\lambda_y\}^T}_{1 \times 3} = \{\lambda^i \ \lambda^j \ \lambda^k\}$ - матрица-строка узловых значений координаты λ .

Дифференцированием (1.1) определяются производные глобальных координат x, z в локальной системе координат $x_{,a}, x_{,b}, z_{,a}, z_{,b}$ и локальных координат a, b в глобальной системе координат $a_{,x}, a_{,z}, b_{,x}, b_{,z}$.

Перемещения внутренней точки конечного элемента аппроксимируются через соответствующие узловые значения матричными соотношениями

$$\beta = \{\varphi(a, b)\}^T \{\beta_y^n\} \quad (1.2)$$

где $\{\beta_y^n\} = \{\beta^i \beta^j \beta^k \beta_{,a}^i \beta_{,a}^j \beta_{,a}^k \beta_{,b}^i \beta_{,b}^j \beta_{,b}^k\}$ - вектор узловых неизвестных в локальной системе координат; под символом β понимаются перемещения u, v в системе координат x, z ; $\{\varphi(a, b)\}$ - матрица функций формы [1].

Вектор узловых неизвестных в глобальной системе координат имеет вид

$$\{\beta_y^\Gamma\} = \{\beta^i \beta^j \beta^k \beta_{,x}^i \beta_{,x}^j \beta_{,x}^k \beta_{,z}^i \beta_{,z}^j \beta_{,z}^k\}.$$

Связь между векторами $\{\beta_y^n\}$ и $\{\beta_y^\Gamma\}$ записывается в матричном виде

$$\{\beta_y^n\} = [h] \{\beta_y^\Gamma\} \quad (1.3)$$

где матрица $[h]$ формируется на основе соотношений

$$\beta_{,a} = \beta_{,x} x_{,a} + \beta_{,z} z_{,a}; \quad \beta_{,b} = \beta_{,x} x_{,b} + \beta_{,z} z_{,b}. \quad (1.4)$$

Соотношения Коши теории упругости [2] с использованием выражений (1.1), (1.2), (1.3) и (1.4) представляются в матричном виде

$$\{\varepsilon\} = [D]\{w\} = [D][A]\{w_y^n\} = [D][A][H]\{w_y^\Gamma\} = [B_1]\{w_y^\Gamma\} \quad (1.5)$$

где $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_{xx} \varepsilon_{zz} 2\varepsilon_{xz}\}$ - матрица - строка деформаций внутренней точки конечного элемента; $\{w\}^T = \{u \ v\}$ - строки перемещений точки

конечного элемента; $[D]$ - матрица дифференциальных операторов из формул Коши;

$$\begin{aligned} \{w_y^l\}^T &= \left\{ \begin{matrix} \{u_y^l\}^T \\ \{v_y^l\}^T \end{matrix} \right\}; & \{w_y^r\}^T &= \left\{ \begin{matrix} \{u_y^r\}^T \\ \{v_y^r\}^T \end{matrix} \right\}; \\ [A]_{2 \times 18} &= \begin{bmatrix} \{\varphi\}^T & \{0\}^T \\ \{0\}^T & \{\varphi\}^T \end{bmatrix}; & [H]_{18 \times 18} &= \begin{bmatrix} \{h\}^T & \{0\}^T \\ \{0\}^T & \{h\}^T \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Связь между напряжениями и деформациями для внутренней точки конечного элемента принимается в виде [2]

$$\{\sigma\}_{3 \times 1} = [C]_{3 \times 3} \{\varepsilon\}_{3 \times 1}, \quad (1.6)$$

$$\text{где } \{\sigma\}_{1 \times 3}^T = \{\sigma_{xx} \ \sigma_{zz} \ \sigma_{xz}\}.$$

Матрица жесткости треугольного конечного элемента формируется на основе равенства работ внешних и внутренних сил при нагружении элемента [1]

$$[K]_{18 \times 18} \{w_y\}_{18 \times 1} = \{f_y\}_{18 \times 1}. \quad (1.7)$$

2. *Матрица жесткости четырехугольного конечного элемента.* Сечение объемного конечного элемента принимается в форме произвольного четырехугольника с узлами i, j, k, l . Для выполнения численного интегрирования использовано отображение произвольного четырехугольника на квадрат с локальными координатами a, b , изменяющимися в пределах $0 \leq a, b \leq 1$.

Глобальные координаты x, z внутренней точки четырехугольного конечного элемента определяются через узловые значения координат билинейными соотношениями

$$\lambda = \{f(a, b)\}^T \{\lambda_y\}, \quad (2.1)$$

где под символом λ понимаются координаты x, z ;

$$\{\lambda_y\}_{1 \times 4}^T = \{\lambda^i \ \lambda^j \ \lambda^k \ \lambda^l\} - \text{матрица-строка узловых значений координаты}$$

λ .

Дифференцированием (2.1) определяются производные $x_{,a}, x_{,b}, z_{,a}, z_{,b}, a_{,x}, a_{,z}, b_{,x}, b_{,z}$.

Перемещения внутренней точки конечного элемента аппроксимируются выражениями

$$\beta = \{\psi(a, b)\}_{1 \times 12}^T \{\beta_y^l\}_{12 \times 1}, \quad (2.2)$$

$$\text{где } \left\{ \beta_y^{\mathcal{L}} \right\}_{1 \times 12} = \left\{ \beta^i \beta^j \beta^k \beta^l \beta_{,a}^i \dots \beta_{,b}^i \dots \beta_{,b}^l \right\}.$$

Вектор узловых неизвестных в глобальной системе координат имеет вид

$$\left\{ \beta_y^{\Gamma} \right\}_{1 \times 9} = \left\{ \beta^i \beta^j \beta^k \beta^l \beta_{,x}^i \dots \beta_{,z}^i \dots \beta_{,z}^l \right\}.$$

Связь между векторами $\left\{ \beta_y^{\mathcal{L}} \right\}$ и $\left\{ \beta_y^{\Gamma} \right\}$ записывается в матричном виде

$$\left\{ \beta_y^{\mathcal{L}} \right\}_{12 \times 1} = \left[h \right]_{12 \times 12} \left\{ \beta_y^{\Gamma} \right\}_{12 \times 1}, \quad (2.3)$$

Соотношения Коши запишутся выражением

$$\left\{ \varepsilon \right\}_{3 \times 1} = \left[B_2 \right]_{3 \times 24} \left\{ w_y^{\Gamma} \right\}_{24 \times 1}. \quad (2.4)$$

Матрица жесткости четырехугольного конечного элемента получается по алгоритму [3]

$$\left[K_2 \right]_{24 \times 24} \left\{ w_y^{\Gamma} \right\}_{24 \times 1} = \left\{ f_y \right\}_{24 \times 1}. \quad (2.5)$$

3. *Геометрия пластин в зоне пересечения.* Для описания геометрии зоны пересечения двух пластин вводятся две системы координат: x, z - для основной пластины и x', z' - для примыкающей.

Орты координатных базисов связаны матричными соотношениями

$$\left\{ \bar{i}' \right\} = [s] \left\{ \bar{i} \right\}, \quad \left\{ \bar{i} \right\} = [l] \left\{ \bar{i}' \right\} \quad (3.1)$$

где

$$\left\{ \bar{i}' \right\} = \left\{ \bar{i}', \bar{k}' \right\}^T; \quad \left\{ \bar{i} \right\} = \left\{ \bar{i}, \bar{k} \right\}^T; \quad [l] = [s]^{-1}.$$

В узлах, на грани пересечения вводятся векторы узловых перемещений основной и примыкающей пластин в виде

$$\left\{ q^{\sigma} \right\}^T = \left\{ u^{\sigma} \ u_{,x}^{\sigma} \ u_{,z}^{\sigma} \ v^{\sigma} \ v_{,x}^{\sigma} \ v_{,z}^{\sigma} \right\}; \quad (3.2)$$

$$\left\{ q'^{\sigma'} \right\}^T = \left\{ u'^{\sigma'} \ u'_{,x'}^{\sigma'} \ u'_{,z'}^{\sigma'} \ v'^{\sigma'} \ v'_{,x'}^{\sigma'} \ v'_{,z'}^{\sigma'} \right\}. \quad (3.3)$$

Соотношения между перемещениями векторов (3.2) и (3.3) определяются из условия равенства векторов перемещений узловой точки

$$u' = ul_{11} + vl_{21}; \quad w' = ul_{21} + vl_{22}. \quad (3.4)$$

Зависимости между производными компонент векторов перемещений в точке пересечения пластин можно получить, используя выражения производной по направлению

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u'}{\partial x'} &= \frac{\partial u'}{\partial x} \cos(x, x') + \frac{\partial u'}{\partial z} \cos(x', z) = l_{11} \frac{\partial u}{\partial x} \cos(x, x') + l_{21} \frac{\partial v}{\partial x} \cos(x, x') + \\
&+ l_{11} \frac{\partial u}{\partial z} \cos(x', z) + l_{21} \frac{\partial v}{\partial z} \cos(x', z); \\
\frac{\partial v'}{\partial z'} &= \frac{\partial v'}{\partial x} \cos(z', x) + \frac{\partial v'}{\partial z} \cos(z', z) = \frac{\partial u}{\partial x} l_{12} \cos(z', x) + \\
&+ \frac{\partial v}{\partial x} l_{22} \cos(z', x) + \left(\frac{\partial u}{\partial z} l_{12} \cos(z', z) + \frac{\partial v}{\partial z} l_{22} \cos(z', z) \right).
\end{aligned} \tag{3.5}$$

На основании выражений (3.4) и (3.5) формируется матричная зависимость

$$\left\{ q' \right\}_{6 \times 1} = [z] \left\{ q \right\}_{6 \times 6} \left\{ \right\}_{6 \times 1}. \tag{3.6}$$

С использованием (3.6) формируется матрица преобразования [Т] между векторами узловых неизвестных примыкающих к границе конечных элементов и выполняется преобразование их матриц жесткостей

$$[K'] = [T]^T [K] [T]; \quad \left\{ f'_y \right\} = [T]^T \left\{ f_y \right\} \tag{3.7}$$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Николаев А.П., Киселев А.П., Клочков Ю.В. О функциях формы в алгоритмах формирования матрицы жесткости в треугольном конечном элементе // Изв. Вузов, сер. Строительство.-1999.-№10.-С.107-111.
- [2] Самуль В. И. Основы теории упругости и пластичности.- М.: «Высшая школа», 1970.- 288с.
- [3] Киселев А.П., Гуреева Н.А., Киселева Р.З. Использование трехмерных конечных элементов в расчетах прочности многослойных панелей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2009. - № 4. - С. 37-40.

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СООТНОШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО УПРУГОГО ТЕЛА

Н.А. Гуреева, *к.т.н.*

Ю.В. Клочков, *д.т.н.*

А.П. Николаев, *д.т.н.*

Волгоградский государственный аграрный университет
Волгоград, Россия

Для шаговой реализации конечно-элементных алгоритмов определяющие соотношения между приращениями напряжений и приращениями деформаций получены с учетом изменения метрики нелинейно деформируемого упругого тела.

Ключевые слова: тензор приращений напряжений, тензор приращений деформаций, девиатор приращений напряжений, девиатор приращений деформаций, интенсивность приращений напряжений, интенсивность приращений деформаций.

Пусть из опыта получена диаграмма деформирования материала (Рис.1). По данным опыта строится график зависимости между первыми инвариантами деформаций и напряжений (Рис.2).

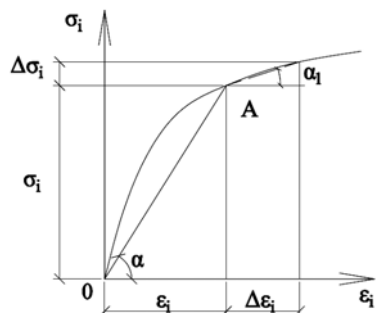


Рис.1 Диаграмма деформирования

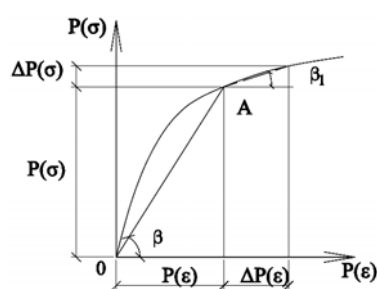


Рис.2 График зависимости между первыми инвариантами деформаций и напряжений

Напряженно – деформированное состояние в произвольной точке тела, нагруженного до деформации ε_i (точка A, Рис.1), характеризуется тензорами напряжений и деформаций в актуальном базисе [2]

$$T_\sigma = \sigma_{ij} \bar{g}^i \bar{g}^j = \sigma^{ij} \bar{g}_i \bar{g}_j; \quad T_\varepsilon = \varepsilon_{ij} \bar{g}^i \bar{g}^j = \varepsilon^{ij} \bar{g}_i \bar{g}_j, \quad (1)$$

где σ_{ij}, σ^{ij} - ковариантные и контравариантные компоненты тензора напряжений; \bar{g}_i, \bar{g}^i - ковариантные и контравариантные векторы базиса в произвольной точке; $\varepsilon_{ij}, \varepsilon^{ij}$ - ковариантные и контравариантные компоненты тензора деформаций.

Тензорам (1) соответствуют их первые инварианты

$$P(\sigma) = \sigma_{ij} g^{ij} = \sigma^{ij} g_{ij}; \quad P(\varepsilon) = \varepsilon_{ij} g^{ij} = \varepsilon^{ij} g_{ij},$$

где g_{ij}, g^{ij} - ковариантные и контравариантные компоненты метрического тензора.

Тензорам напряжений и деформаций (1) соответствуют девиаторы напряжений D_σ и деформаций D_ε [2]

$$D_\sigma = S_{ij} \bar{g}^i \bar{g}^j = S^{ij} \bar{g}_i \bar{g}_j; \quad D_\varepsilon = E_{ij} \bar{g}^i \bar{g}^j = E^{ij} \bar{g}_i \bar{g}_j,$$

где $S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} P(\sigma) g_{ij}$; $S^{ij} = \sigma^{ij} - \frac{1}{3} P(\sigma) g^{ij}$ - ковариантные и контравариантные компоненты девиатора напряжений; $E_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} P(\varepsilon) g_{ij}$;

$E^{ij} = \varepsilon^{ij} - \frac{1}{3} P(\varepsilon) g^{ij}$ - ковариантные и контравариантные компоненты девиатора деформаций.

Вторые инварианты девиаторов напряжений и деформаций определяются в актуальном базисе выражениями [2]

$$I_2(S) = S^{ij} S_{ij}; \quad I_2(E) = E^{ij} E_{ij}.$$

По результатам опыта определяются величины $\varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}, S_{ij}, E_{ij}$ и по формулам [2] вычисляются интенсивности напряжений и деформаций

$$\sigma_i = \sqrt{3 S^{ij} S_{ij}}; \quad \varepsilon_i = \sqrt{\frac{4}{3} E^{ij} E_{ij}}. \quad (2)$$

Соотношения между напряжениями и деформациями определяются на основе гипотезы о пропорциональности компонент девиатора напряжений компонентам девиатора деформаций в виде

$$S_{ij} = \varphi E_{ij}; \quad S^{ij} = \varphi E^{ij}. \quad (3)$$

где $\varphi = \frac{3 \sigma_i}{2 \varepsilon_i}$ - функция пропорциональности, определяемая подстановкой (3) в (2), численное значение которой можно определить по диаграмме деформирования.

С использованием значений функции φ соотношения между напряжениями и деформациями (3) можно представить в виде

$$\sigma_{ij} = \frac{3}{2} E_{c\delta} \varepsilon_{ij} + P(\varepsilon) g_{ij} \left(-\frac{1}{2} E_{c\delta} + \frac{1}{3} \gamma_c \right), \quad (4)$$

где использована зависимость $P(\sigma) = \gamma_c P(\varepsilon)$; $\gamma_c = tg \beta$ (Рис.2); $E_{c\delta} = tg \alpha$ - секущий модуль диаграммы деформирования (Рис.1).

Определение соотношений между компонентами тензора приращений напряжений и компонентами тензора приращений деформаций осуществляется с использованием гипотезы о пропорциональности компонент девиатора приращений напряжений компонентам девиатора приращений деформаций в виде

$$\Delta S_{ij} = \psi \Delta E_{ij}; \quad \Delta S^{ij} = \psi \Delta E^{ij}, \quad (5)$$

где $\Delta S_{ij} = \Delta \sigma_{ij} - \frac{1}{3} P(\Delta \sigma) g_{ij}$; $\Delta S^{ij} = \Delta \sigma^{ij} - \frac{1}{3} P(\Delta \sigma) g^{ij}$ - ковариантные и контравариантные компоненты девиатора приращений напряжений; $\Delta E_{ij} = \Delta \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} P(\Delta \varepsilon) g_{ij}$; $\Delta E^{ij} = \Delta \varepsilon^{ij} - \frac{1}{3} P(\Delta \varepsilon) g^{ij}$ - ковариантные и контравариантные компоненты девиатора приращений деформаций; $P(\Delta \sigma) = \Delta \sigma_{ij} g^{ij} = \Delta \sigma^{ij} g_{ij}$ - первый инвариант тензора приращений напряжений; $P(\Delta \varepsilon) = \Delta \varepsilon_{ij} g^{ij} = \Delta \varepsilon^{ij} g_{ij}$ - первый инвариант тензора приращений деформаций.

Введем в рассмотрение инвариантные величины: σ_i^Δ - интенсивность приращений напряжений и ε_i^Δ - интенсивность приращений деформаций, которые определяются по формулам [1]

$$\sigma_i^\Delta = \sqrt{3 \Delta S^{ij} \Delta S_{ij}}; \quad \varepsilon_i^\Delta = \sqrt{\frac{4}{3} \Delta E^{ij} \Delta E_{ij}}. \quad (6)$$

С использованием выражений (5) и (6) определяется функция пропорциональности ψ .

При решении упруго нелинейной задачи принимается равенство

$$\frac{\sigma_i^\Delta}{\varepsilon_i^\Delta} = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \varepsilon_i}. \quad (7)$$

На основе равенства (7) функцию ψ представить в виде

$$\psi = \frac{3}{2} E_{x\delta}, \quad (11)$$

где $E_{x\delta} = tg \alpha_1$ - хордовый модуль диаграммы деформирования (Рис.1).

С учетом (8) выражения (5) примут вид

$$\Delta S_{ij} = E_{x0} \Delta E_{ij} ; \Delta S^{ij} = E_{x0} \Delta E^{ij} . \quad (9)$$

Для преобразования (9) используется зависимость между первыми инвариантами тензоров приращений напряжений и деформаций в виде

$$P(\Delta\sigma) = \gamma_x E_{x0} P(\Delta\varepsilon) , \quad (10)$$

где $\gamma_x = tg \beta_1$ (Рис.2).

С учетом (10) из (9) получается

$$\Delta\sigma_{ij} = \frac{3}{2} E_{x0} \Delta\varepsilon_{ij} + P(\Delta\varepsilon) g_{ij} \left(-\frac{1}{3} E_{x0} + \frac{1}{3} \gamma_x \right) .$$

Свойство аддитивности ковариантных компонент тензора приращений деформаций $\Delta\varepsilon_{ij}$ [2] влечет аддитивность ковариантных компонент девиатора приращений деформаций ΔE_{ij} . На основании первого выражения (9) аддитивными должны быть и величины ΔS_{ij} , а следовательно и ковариантные компоненты тензора приращений напряжений $\Delta\sigma_{ij}$. Полные напряжения σ_{ij} можно вычислить не только по (4), но и суммированием приращений ковариантных компонент $\Delta\sigma_{ij}$ тензоров приращений напряжений.

$$\sigma_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\sigma_{ij} ,$$

где m - число шагов нагружения.

Физические напряжения определяются выражениями

$$\sigma_{ij}^{\phi} = \sigma_{ij} \sqrt{g^{ii} g^{jj}} = \sigma^{ij} \sqrt{g_{ii} g_{jj}} .$$

Для получения диаграммы деформирования можно использовать эксперимент растяжения образца при учете геометрической нелинейности. Для более корректного подхода диаграмму деформирования следует получать из опыта сложного нагружения образца, имеющего форму трубки, подвергая его растяжению вдоль оси, внутреннему давлению и кручению.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Николаев А.П. Векторная интерполяция полей перемещений в конечно-элементных расчетах оболочек / А.П. Николаев, Ю.В. Клочков, А.П. Киселев, Н.А. Гуреева / – Волгоград: ВолГАУ, 2012. – 264 с.
 [2] Седов Л.И. Механика сплошной среды.- М.: Наука, 1976.- т.1,2.- 536

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ МКЭ В СМЕШАННОЙ ФОРМУЛИРОВКЕ И В ВАРИАНТЕ МЕТОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.П. Николаев, *д.т.н.*

В.Н. Юшкин, *к.т.н.*

ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный аграрный университет
г. Волгоград

Изложены алгоритмы получения матрицы жесткости конечного элемента в варианте формулировки метода перемещений и формирования матрицы деформирования конечного элемента в смешанной формулировке МКЭ при использовании модифицированного функционала Рейснера.

В расчетах широкое применение нашли четырехузловые конечные элементы, при формировании матриц жесткости которых используется метод перемещений [1, 2].

1. В первом варианте для расчета использован четырехузловой конечный элемент в формулировке метода перемещений. В качестве узловых неизвестных приняты перемещения и их производные. В настоящей работе выполняется сравнение алгоритмов МКЭ в формулировках метода перемещений и смешанного метода.

В качестве конечного элемента принимается произвольный фрагмент пластины с узлами i, j, k, l . Для выполнения численного интегрирования четырехугольный фрагмент отображается на квадрат с локальными координатами ξ и η . Интервалы изменения значений координат ξ и η определяются неравенствами $-1 \leq \xi \leq 1, -1 \leq \eta \leq 1$.

Глобальные координаты x и y произвольной точки срединной поверхности криволинейного конечного элемента связаны с локальными координатами ξ и η зависимостями

$$\begin{aligned} x &= \frac{(1-\xi)(1-\eta)}{2} x^i + \frac{(1+\xi)(1-\eta)}{2} x^j + \\ &+ \frac{(1+\xi)(1+\eta)}{2} x^k + \frac{(1-\xi)(1+\eta)}{2} x^l; \\ y &= \frac{(1-\xi)(1-\eta)}{2} y^i + \frac{(1+\xi)(1-\eta)}{2} y^j + \end{aligned} \tag{1.1}$$

$$+ \frac{(1+\xi)(1+\eta)}{2} y^k + \frac{(1-\xi)(1+\eta)}{2} y^l,$$

где индексами i, j, k и l отмечены величины, относящиеся к соответствующим узлам конечного элемента.

Дифференцированием (1.1) определяем производные глобальных координат в локальной системе

$$\begin{aligned} x_{,\xi} &= \{f_{,\xi}\}^T \{x_y\}; \\ x_{,\eta} &= \{f_{,\eta}\}^T \{x_y\}; \\ y_{,\xi} &= \{f_{,\xi}\}^T \{y_y\}; \\ y_{,\eta} &= \{f_{,\eta}\}^T \{y_y\}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Производная локальных координаты в глобальной системе

$$\xi_{,x} = \frac{y_{,\eta}}{\Delta}; \quad \eta_{,x} = -\frac{y_{,\xi}}{\Delta}; \quad \xi_{,y} = -\frac{x_{,\eta}}{\Delta}; \quad \eta_{,y} = \frac{x_{,\xi}}{\Delta} \quad (1.3)$$

$$\text{где } \Delta = \{f_{,\xi}\}^T \{x_y\} \cdot \{f_{,\eta}\}^T \{y_y\} - \{f_{,\xi}\}^T \{y_y\} \cdot \{f_{,\eta}\}^T \{x_y\}.$$

Вектор узловых перемещений конечного элемента можно записать в локальной и глобальной системах координат

$$\begin{aligned} \{w_y^a\}^T &= \{w^i, w^j, w^k, w^l, w_{,\xi}^i, w_{,\xi}^j, w_{,\xi}^k, w_{,\xi}^l, w_{,\eta}^i, w_{,\eta}^j, w_{,\eta}^k, w_{,\eta}^l\}; \\ \{w_y^e\}^T &= \{w^i, w^j, w^k, w^l, w_{,x}^i, w_{,x}^j, w_{,x}^k, w_{,x}^l, w_{,y}^i, w_{,y}^j, w_{,y}^k, w_{,y}^l\}; \end{aligned} \quad (1.4)$$

где $w_{,\xi}, w_{,\eta}, w_{,x}, w_{,y}$ – первые производные нормального перемещения пластины в локальной и глобальной системах координат.

Перемещение произвольной точки конечного элемента и ее производная выражаются через соответствующие узловые значения в виде зависимостей

$$\begin{aligned} w &= h_1(\xi)h_1(\eta)w^i + h_2(\xi)h_1(\eta)w^j + \\ &+ h_2(\xi)h_2(\eta)w^k + h_1(\xi)h_2(\eta)w^l + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + h_3(\xi)h_1(\eta)w_{,\xi}^i + h_4(\xi)h_1(\eta)w_{,\xi}^j + \\
& + h_4(\xi)h_2(\eta)w_{,\xi}^k + h_3(\xi)h_2(\eta)w_{,\xi}^l + \\
& + h_1(\xi)h_3(\eta)w_{,\eta}^i + h_2(\xi)h_3(\eta)w_{,\eta}^j + \\
& + h_2(\xi)h_4(\eta)w_{,\eta}^k + h_1(\xi)h_4(\eta)w_{,\eta}^l = \{\psi\}^T \{w_y^a\} \\
& w_{,x} = \{\psi_{,x}\}^T \{w_y^a\}; \quad w_{,y} = \{\psi_{,y}\}^T \{w_y^a\}.
\end{aligned} \tag{1.5}$$

Здесь функции $h_1 \dots h_4$ – являются полиномами Эрмита третьей степени.

Для вывода матрицы жесткости и вектора сил конечного элемента используется равенство работ внутренних и внешних сил конечного элемента на возможном перемещении

$$\Pi \equiv \int_V \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} dV - \int_0^l w \cdot q dx = 0, \tag{1.7}$$

где $dV = dx dy dz$.

2. Во втором варианте для формирования матрицы деформирования элемента в смешанной формулировке МКЭ использован модифицированный функционал Рейсснера [2, 3], который для пластины можно представить выражением

$$\Pi_R \equiv b \int_S \{M\}^T \{\chi\} dS - \frac{1}{2} \int_S \{M\}^T [C] \{M\} dS - \int_S w q dS = 0, \tag{2.1}$$

где $\{M\}_{1 \times 3}^T = \{M_{11}, M_{22}, M_{12}\}$ – момент в рассматриваемом сечении;

$\{\chi\}^T = \{\chi_{11}, \chi_{22}, 2\chi_{12}\}$; S – площадь пластинки.

Здесь принято

$$\{\chi\} = [C] \{M\}. \tag{2.2}$$

Для получения матрицы деформирования конечного элемента использованы следующие интерполяционные зависимости

$$w = \{\psi\}_{1 \times 12}^T \{w_y^a\}_{12 \times 1}; \quad \{\chi\}_{3 \times 1} = [A_\chi]_{3 \times 12} \{w_y^a\}_{12 \times 1}; \quad \{M\}_{3 \times 1} = [A_M]_{3 \times 12} \{M_y\}_{12 \times 1}, \tag{2.3}$$

Где

$$[A_\chi] = \begin{bmatrix} \{\psi_{,xx}\}^T \\ \{\psi_{,yy}\}^T \\ \{\psi_{,xy}\}^T \end{bmatrix}_{3 \times 12}; \quad \{A_M\} = \begin{bmatrix} \{\varphi\}^T & 0 & 0 \\ 0 & \{\varphi\}^T & 0 \\ 0 & 0 & \{\varphi\}^T \end{bmatrix}_{1 \times 4};$$

$\{\varphi\}^T$ – билинейные функции формы;

$$\{M_y\}^T = \{M_{11}^i, M_{11}^j, M_{11}^k, M_{11}^l, M_{22}^i, M_{22}^j, M_{22}^k, M_{22}^l, M_{12}^i, M_{12}^j, M_{12}^k, M_{12}^l\}_{1 \times 12}.$$

С учетом аппроксимирующих выражений функционал (2.1) запишем в виде

$$\begin{aligned} \Pi \equiv & \{M_y\}^T b \int_S [A_M]^T [A_\chi] [R] dS \{w_y^e\} - \\ & - \frac{1}{2} \{M_y\}^T \int_S [A_M]^T [C] [A_M] dS - \{w_y^e\}^T [R]^T \int_S \{\psi\} q dS = 0, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где $[R]$ – матрица преобразования узловых неизвестных из локальной системы координат в глобальную.

Минимизируя равенство (2.2), можно записать следующие матричные зависимости

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_R}{\partial \{M_y\}^T} & \equiv [Q] \{w_y\} - [H] \{M_y\} = 0; \\ \frac{\partial \Pi_R}{\partial \{w_y\}^T} & \equiv [Q]^T \{M_y\} - \{f_y\} q dx = 0, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где

$$[Q] = b \int_S [A_M]^T [A_\chi] dS [R],$$

$$[H] = \int_S [A_M]^T [C] [A_M] dS, \quad \{f_y\} = [R] \int_S \{\psi\} q dS.$$

Уравнение (2.3) можно записать в матричном виде

$$[K] \{z_y\} = \{F\} \quad (2.6)$$

где

$$[K] = \begin{bmatrix} -[H]_{12 \times 12} & [Q]_{12 \times 12} \\ [Q]^T_{12 \times 12} & 0 \end{bmatrix}, \quad \{z_y\}^T = \left\{ \{M_y\}^T \{w_y\}^T \right\}, \quad \{F\}^T = \left\{ \{0\}^T \{f_y\}^T \right\}.$$

В качестве примера была рассмотрена консольная балка находящаяся под действием равномерно распределенной нагрузки интенсивности q . Моменты в заделке оказались в обоих вариантах расчета одинаковыми при представлении балки одним элементом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Николаев А.П., Клочков Ю.В., Киселев А.П., Гуреева Н.А.. Векторная интерполяция перемещений в конечно-элементных расчетах оболочек. – Волгоград, 2012. – 262 с.
- [2] Галагер Р. Метод конечных элементов. Основы. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
- [3] Гуреева Н.А. Гибридных четырехугольный элемент осесимметрично нагруженного тела вращения с неизвестными перемещениями и напряжениями в узлах // Изв. вузов Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки, 200

КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

А.У. Нурымбетов¹, к.ф.-м.н.

М.Ш. Жунибеков², к.т.н.

1- МАИ – Московский авиационный институт (НИУ)

ул. Лациса Валиса 14, Москва, Россия, 125480

2- Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

Ул. Толе би 62, Тараз, Казахстан, 08000

На примере стержня исследуется влияние взаимодействия компонентов композиции на свободные колебания армированных тел. При слабом взаимодействии компонентов композиции, что реализуется при больших частотах с малой длиной волны, колебанию стержня соответствуют две собственные частоты, отличающиеся от частот двух стержней идентичных размеров, но изготовленных отдельно из материала матрицы и отдельно из материала наполнителя.

Ключевые слова: стержень, колебания, частоты, ряды Фурье.

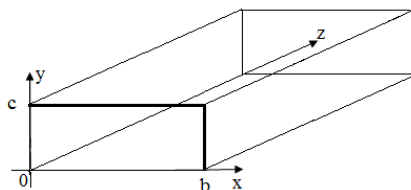


Рис.1. Стержень прямоугольного сечения

1. Собственные функции. Пусть прямоугольник ограничен прямыми $x=0$, $x=b$, $y=0$, $y=c$ (рис 1). Колебаниях стержня сводится к решению уравнения [1]

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = a \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

с начальными условиями

$$w|_{t=0} = f(x, y), \quad \frac{\partial w}{\partial t} = F(x, y) \quad (2)$$

и краевыми условиями, заданными на границе прямоугольника,

$$w|_{x=0} = 0, \quad w|_{x=b} = 0, \quad w|_{y=0} = 0, \quad w|_{y=c} = 0. \quad (3)$$

Поставленную задачу будем решать *методом Фурье*. Ищем решения уравнения (1), удовлетворяющие краевым условиям (3), в виде произведения трех функций, каждая из которых зависит только от одного аргумента:

$$w(x, y, t) = X(x)Y(y)T(t). \quad (4)$$

Из первого условия (3) следует, что $X(0)Y(0)T(0) = 0$. Так как нас интересуют решения, не тождественно равные нулю, то $X(0)=0$. Аналогично составим и остальные условия, налагаемые на функции $X(x)$ и $Y(y)$. Выписав их все вместе, получим:

$$X(0)=0, \quad X(b)=0, \quad Y(0)=0, \quad Y(c)=0. \quad (5)$$

Дифференцируем дважды функцию (4) по каждому из аргументов:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = X''YT, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = XY''T, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = XYT''.$$

Подставляя выражения для производных в уравнение (1) и разделяя переменные, придадим ему вид

$$\frac{T'}{a^2 T} = \frac{X''}{X} + \frac{Y''}{Y}.$$

Левая часть равенства не зависит от переменных x и y , а правая часть - от переменной t . Поэтому оно может соблюдаться только при условии, что ни левая, ни правая части не зависят ни от одной из переменных, т. е.

$$\frac{T''}{a^2 T} = \frac{X''}{X} + \frac{Y''}{Y} = \text{const.}$$

Далее, так как отношение X''/X зависит только от x , а Y''/Y - только от y , то сумма

$$\frac{X''}{X} + \frac{Y''}{Y}$$

может быть постоянной лишь при условии, что каждое из этих слагаемых есть в свою очередь величина постоянная, т.е.

$$\frac{X''}{X} = -\lambda^2, \quad \frac{Y''}{Y} = -\mu^2.$$

Обе последние постоянные выбраны отрицательными, так как в противном случае функции $X(x)$, $Y(y)$ не могли бы удовлетворять краевым условиям (5). В результате для отыскания функции $X(x)$, $Y(y)$ и $T(t)$ получены уравнения:

$$X'' + \lambda^2 X(x) = 0, \quad X(0) = X(b) = 0, \quad (6)$$

$$Y'' + \mu^2 Y(y) = 0, \quad Y(0) = Y(c) = 0, \quad (7)$$

$$T''(t) + a^2(\lambda^2 + \mu^2)T(t) = 0. \quad (8)$$

Решения уравнений (6) и (7) имеют вид

$$X(x) = C_1 \cos \lambda x + C_2 \sin \lambda x, \quad Y(y) = D_1 \cos \mu y + D_2 \sin \mu y.$$

Краевые условия $X(0)=X(b)=0$ приводят к соотношениям $C_1 = 0$, $\lambda b = k\pi$, где k - целое число. Только при соблюдении последнего требования уравнение (6) имеет нулевое решение. Аналогично из условий $Y(0)=Y(c)$ следует $D_1 = 0$, $\mu c = n\pi$, (n - целое число). Собственные числа λ_k , μ_n определяются формулами

$$\lambda_k = \frac{k\pi}{b}, \quad \mu_n = \frac{n\pi}{c} \quad (9)$$

где k и n - любые целые положительные числа. Каждой паре собственных чисел соответствуют собственные функции.

$$X_k(x) = \sin \frac{k\pi x}{b}, \quad Y_n(y) = \sin \frac{n\pi y}{c}. \quad (10)$$

Из (10) ясно, что если брать числа k и n отрицательными, то новых собственных функций не получится. Перейдем к уравнению (8). Для ка-

ждой пары собственных чисел $\frac{k\pi}{b}$, $\frac{n\pi}{c}$ оно примет вид

$$T''(t) + \pi^2 a^2 \left(\frac{k^2}{b^2} + \frac{n^2}{c^2} \right) T(t) = 0.$$

Решение этого уравнения обозначим функцией $T_{k,n}(t)$ с двумя индексами; произвольные постоянные входящие в его общее решение, придется также обозначить буквами с двумя индексами: $a_{k,n}$ и $b_{k,n}$. Имеем

$$T_{k,n}(t) = a_{k,n} \cos \omega_{k,n} t + b_{k,n} \sin \omega_{k,n} t, \quad (11)$$

где $\omega_{k,n} = \pi a \sqrt{\frac{k^2}{b^2} + \frac{n^2}{c^2}}$ собственные частоты колебаний стержня прямоугольного сечения. Составив произведение функций (10), (11), образуем функции $w_{k,n}(x, y, t)$ удовлетворяющие уравнению (1) и краевым условиям (3). Каждой паре положительных чисел k и n соответствует функция

$$w_{k,n}(x, y, t) = (a_{k,n} \cos \omega_{k,n} t + b_{k,n} \sin \omega_{k,n} t) \sin \lambda_k x \sin \mu_n y. \quad (12)$$

Прежде чем переходить отысканию решения, удовлетворяющего начальным условиям, выясним свойства функций (12).

2. Стоячие волны стержня прямоугольного сечения. Функции $w_{k,n}(x, y, t)$ описывают собственные колебания и, каждая из них, представляет стоячую волну для прямоугольного сечения стержня. Запишем формулу (12) в виде

$$w_{k,n}(x, y, t) = F_{k,n} \sin(\omega_{k,n} t + \varphi_{k,n}) \sin \lambda_k x \sin \mu_n y,$$

где $F_{k,n} = \sqrt{a_{k,n}^2 + b_{k,n}^2}$, $\operatorname{tg} \varphi_{k,n} = \frac{a_{k,n}}{b_{k,n}}$. Ясно видно, что каждая точка (x, y)

прямоугольника совершает простое гармоническое колебание с частотой $\omega_{k,n}$ и амплитудой $F_{k,n} \sin \lambda_k x \sin \mu_n y$. Все точки проходя положение равновесия в одни и те же моменты времени, определяемые равенствами $\omega_{k,n} t + \varphi_{k,n} = g\pi$, где g принимает значения $0, 1, 2, 3, \dots$. Точно так же одновременно точки достигают максимального отклонения (в ту или другую сторону). При колебании стержня прямоугольного сечения контур ее остается неподвижный. Так как внутри прямоугольника $0 < x < b$ и $0 < y < c$ то

функция $\sin \frac{\pi x}{b}$ и $\sin \frac{\pi y}{c}$ положительны и все точки прямоугольника

одновременно находятся то по одну сторону плоскости xOy , то по другую (в зависимости от знака $\sin(\omega_{1,1} t + \varphi_{1,1})$). Наибольшую амплитуду

колебания будет иметь точка, для которой $\sin \frac{\pi x}{b} = 1$ и $\sin \frac{\pi y}{c} = 1$, т.е.

точка с координатами $(\frac{b}{2}, \frac{c}{2})$ центр стержня прямоугольного сечения. Так

же как и для струны $w_{k,n}(x, y, t) = (a_{k,n} \cos \omega_{k,n} t + b_{k,n} \sin \omega_{k,n} t) \sin \lambda_k x \sin \mu_n y$. (13)

Другие стоячие волны имеют более сложный вид. При колебаниях $w_{k,n}(x, y, t) = F_{k,n} \sin(\omega_{k,n} t + \varphi_{k,n}) \sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c}$, помимо линий контура,

будет $(k-1)$ узловая линия, параллельная оси Oy : $x = \frac{b}{k}, x = \frac{2b}{k}, \dots$,

$x = \frac{(k-1)b}{k}$, $(n-1)$ линия, параллельная оси Ox :

$y = \frac{c}{n}, x = \frac{2c}{n}, \dots, x = \frac{(n-1)c}{n}$ (при этих значениях x и y собственные

функции обращаются в ноль). Эти линии разобьют прямоугольник на nk прямоугольников, причем в двух соседних (т. е. имеющих общую сторону) отклонения будут направлены в разные стороны. Центр каждого такого прямоугольника будет являться пучностью.

3. Двойные ряды в методе Фурье. Вернемся теперь к задаче отыскания решения, удовлетворяющего начальным условиям (2). Как обычно, будем искать его в виде ряда, составленного из частных решений (12). Каждое частное решение зависит от двух индексов: k и n , поэтому нам придется образовать двойную сумму

$$w_{k,n}(x, y, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (a_{k,n} \cos \omega_{k,n} t + b_{k,n} \sin \omega_{k,n} t) \sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c}. \quad (13)$$

Заставляя индексы суммирования k и n пробегать все положительные числа, независимо друг от друга, мы тем самым учтем все частные решения вида (12). Подставляя значение $t=0$ в функцию

$w_{k,n}(x, y, t)$ и в производную $\frac{\partial w}{\partial t}$, получим:

$$w|_{t=0} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{k,n} \sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c} = f(x, y), \quad (14)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} \Big|_{t=0} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \omega_{k,n} b_{k,n} \sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c} = F(x, y). \quad (15)$$

Формулы (14) и (15) представляют разложения функций двух переменных в *двойные ряды Фурье*. Рассмотрим его подробнее. Возьмем систему функций $\sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c}$, и покажем, что в области $D(0 \leq x \leq b, 0 \leq y \leq c)$ она *ортogonalна*. Это значит что двойной интеграл, взятый по област D от произведения двух различных функций

системы, равен нулю. Поскольку система функций $\sin \frac{k\pi x}{b}$ ортогональна в интервале $[0, b]$, а система $\sin \frac{n\pi y}{c}$ - в интервале $[0, c]$, то написанное выражение равно нулю, если соблюдается хотя бы одно из неравенств $k_1 \neq k_2$ и $n_1 \neq n_2$. Если же $k_1 = k_2 = k$ и $n_1 = n_2 = n$, то

$$\int_0^b \int_0^c \sin^2 \frac{k\pi x}{b} \sin^2 \frac{n\pi y}{c} dx dy = \left(\int_0^b \sin^2 \frac{k\pi x}{b} dx \right) \left(\int_0^c \sin^2 \frac{n\pi y}{c} dy \right) = \frac{bc}{4}.$$

Исходя из установленных соотношений, легко найти все коэффициенты разложений (14) и (15). Формулы для их отыскания совершенно аналогичны обычным формулам Фурье:

$$a_{k,n} = \frac{4}{bc} \int_0^b \int_0^c f(x, y) \sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c} dx dy, \quad (16)$$

$$b_{k,n} = \frac{4}{bc\omega_{k,n}} \left(\int_0^b \int_0^c F(x, y) \sin \frac{k\pi x}{b} \sin \frac{n\pi y}{c} dx dy \right). \quad (17)$$

Подставив выражения для коэффициентов $a_{k,n}$ и $b_{k,n}$ в формулу (13), завершим решение задачи.

3. Стоячие волны с одинаковой частотой. В заключение кратко остановимся на одной важной особенности колебаний стержня прямоугольного сечения. При колебаниях струны каждой собственной частоте соответствовала одна стоячая волна, вполне определяющая форму струны. При колебаниях стержня прямоугольного сечения одной и той же собственной частоте может соответствовать несколько различных стоячих волн. (При этом функция $F(x, y) = 0$ оказывается разрывной.)

Данный анализ позволяет путем выбора материала компонентов армированной слоистой среды управлять собственными частотами колебаний деталей без изменения их геометрических размеров и формы, что важно в технических приложениях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Нуримбетов А.У. Собственные частоты колебаний анизотропных многослойных лопаток и стержней с переменными физико-геометрическими параметрами //Тезисы докл. I междунар. конф. «Деформирование и разрушение композиционных материалов и конструкций» («Deformation and Failure of Composite Materials and Structures» DFCMS-2014) 10-13 ноября 2014. - Москва - С. 27.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУЦИРОВАННЫХ ШУМОМ ПЕРЕХОДОВ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Е.Ю. Крылова¹, к. ф.-м. н.
И.В. Папкина², (науч. рук.), к. ф.-м. н.
В.А. Крысько², д.т.н.
В.А. Крысько² (мл.), студент

1- Кафедра математического и компьютерного моделирования
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
Ул. Астраханская, 83, Саратов, Россия, 410012

2 - Кафедра математика и моделирование
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.
Ул. Политехническая, 77, Саратов, Россия, 410054

Статья посвящена исследованию влияния интенсивности внешнего аддитивного белого шума на нелинейную динамику цилиндрической панели Кирхгофа-Лява. Помимо классических методов нелинейной динамики применялся аппарат вейвлет преобразований, позволивший обнаружить важные локальные особенности индуцируемых шумом переходов.

Ключевые слова: нелинейная динамика, параметрические колебания, индуцированные шумом переходы, цилиндрическая панель, хаос, вейвлет анализ, белый шум.

Построена математическая модель колебаний гибкой прямоугольной в плане цилиндрической панели с постоянной жесткостью и плотностью под действием знакопеременной продольной нагрузки с учетом аддитивного внешнего шума, добавленного в систему в форме случайного сигнала с постоянной интенсивностью. Материал панели считаем изотропным и однородным. Математическая модель основывается на гипотезах Кирхгофа-Лява, геометрическая нелинейность учитывается в форме Г. Кармана.

В прямоугольной системе координат трехмерная область имеет вид:

$$\Omega = \{x_1, x_2, x_3 \mid (x_1, x_2) \in [0; a] \times [0; b], x_3 \in [-h; h]\}.$$

Продольная нагрузка приложена по периметру оболочки. Учет нагрузки идет в граничных условиях.

Математическая модель колебаний панели описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, записанных в безразмерном виде [1]:

$$\frac{1}{12(1-\mu^2)}(\nabla_{\lambda}^4 w) - \nabla_k^2 F - L(w, F) - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \varepsilon \frac{\partial w}{\partial t} - q(x_1, x_2, t) = 0, \quad (1)$$

$$\nabla_{\lambda}^4 F + \nabla_k^2 w + \frac{1}{2} L(w, w) = 0$$

где $L(w, F)$, $L(w, w)$ - известные нелинейные операторы,

$$\nabla_{\lambda}^4 = \frac{1}{\lambda^2} \frac{\partial^4}{\partial x_1^4} + \lambda^2 \frac{\partial^4}{\partial x_2^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x_1^2 \partial x_2^2}, \nabla_k^2 = k_{x_2} \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + k_{x_1} \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}$$

w и F - функция прогиба и усилия соответственно.

К уравнениям (1) присоединяются граничные условия опирания на гибкие несжимаемые ребра (2) [2] и нулевые начальные.

$$\begin{aligned} w = 0; \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} = 0; F = 0; \frac{\partial^2 F}{\partial x_1^2} = p_{x_2} + p_n \text{ при } x_1 = 0; 1; \\ w = 0; \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} = 0; F = 0; \frac{\partial^2 F}{\partial x_2^2} = p_{x_1} + p_n \text{ при } x_2 = 0; 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Система (1) с учетом граничных и начальных условий сводится к нелинейной системе обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ) методом конечных разностей с аппроксимацией $O(\Delta^2)$ по пространственным переменным. Первое уравнение нелинейной СОДУ по времени решается методом Рунге-Кутты 4-ого порядка относительно функции прогиба. Выбор метода обоснован в статье [3]. Далее значения функции прогиба подставляется в правую часть второго уравнения системы. Второе уравнение системы (1) становится линейным и решается методом обратной матрицы относительно функции усилия на каждом шаге по времени. Число разбиений в методе конечных разностей $n = 14$. Выбор количества разбиений МКР и обоснование достоверности получаемых результатов приведены в работе [4].

Предметом исследований являлось влияние интенсивности внешнего шума на сценарии перехода колебаний прямоугольной в плане цилиндрической панели с геометрическими параметрами $k_{x_1} = 0, k_{x_2} = 12$ к хаотическим. Параметра эксперимента нагрузка, задана в виде

$$p_{x_1} = p_{x_2} = p_0 \sin \omega_p t,$$

где ω_p, p_0 - частота и амплитуда внешнего воздействия соответственно, на временном интервале

$$t \in [0, 286], \lambda = 1, \varepsilon = 1, \mu = 0.3.$$

Аддитивный шум добавлен в систему в форме случайного слагаемого с постоянной интенсивностью

$$p_n = p_{n0} (2.0 * \text{rand}() / (\text{RAND_MAX} + 1.0) - 1.0),$$

где p_{n0} - интенсивность шума. При исследовании колебаний результаты, полученные для центральной точки срединной плоскости панели, обобщаются на всю панель.

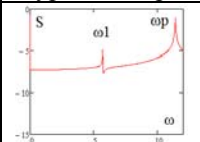
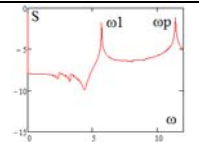
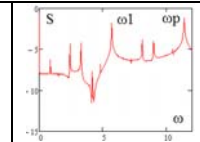
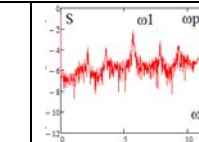
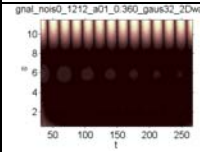
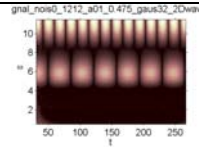
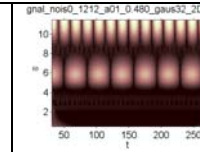
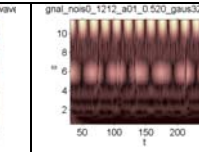
В численном эксперименте для детерминированных параметрических колебаний рассматриваемых механических систем, при частоте внешней продольной нагрузки

$$\omega_p = 8.4 = \omega_0$$

(ω_0 - частота собственных колебаний панели), был получен модифицированный сценарий Рюэля-Тakens-Ньюхауза, являющийся комбинацией всех трех классических сценариев. При амплитуде внешней нагрузки $p_0 = 0.36$ появляется частота $\omega_1 = \omega_p / 2$ (Фейгенбаум), в дальнейшем переход к хаосу осуществляется по средствам появления серии линейно зависимых частот (Рюэль-Тakens-Ньюхауз), а также появления нарастания количества хаотических окон в сигнале (Помо-Манневиль). (Табл.1.)

Являясь мощной альтернативой Фурье анализу, вейвлет преобразование дает возможность отследить локализованные особенности сигнала. В работе сигналы анализировались на основе материнского вейвлета Gauss32, обоснование выбора вейвлета дано в работе [5]. Использование вейвлет преобразований позволило выяснить, что мощность частоты соответствующей первой бифуркации системы уменьшается с течением времени.

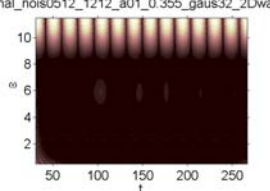
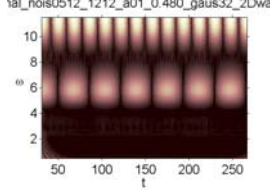
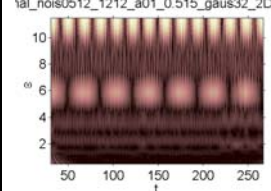
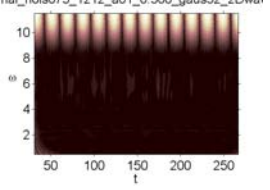
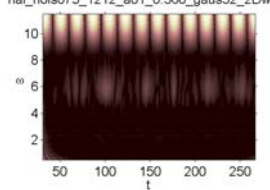
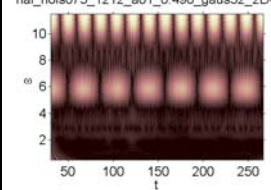
Таблица 1 Сценарий без учета белого шума.

$p_0 = 0.36$	$p_0 = 0.475$	$p_0 = 0.48$	$p_0 = 0.52$
Фурье спектры			
			
Вейвлет спектры			
			

Анализ влияния интенсивности аддитивного шума на характер перехода колебаний к хаосу показал, что в условиях присутствия случайных флуктуаций внешней среды разрушения сценария Рюэля-Тakens-Ньюхауса не происходит. С увеличением интенсивности внешнего шума сечения Пуанкаре и фазовые портреты качественно не менялись, система переходила в хаос на первой бифуркации. Наличие случайных флуктуации, с ростом амплитуды продольной нагрузки, приводят к зашумлению спектра мощности Фурье в местах соответствующих следующим бифуркациям и, как следствие, к утолщению фазового портрета. Рост интенсивности аддитивного внешнего шума вызывает ускорение появления бифуркаций системы по управляющему параметру и, как следствие ускоряет переход системы в состояние хаоса.

Построенные на основе вейвлета Гаусса 32-ого порядка спектры показывают, что переход к хаосу рассматриваемой системы в условиях внешних флуктуаций также осуществляется через перемежаемость. Применение вейвлет преобразования иллюстрируют, что состояние системы меняется не только с ростом управляющего параметра (амплитуды внешней продольной нагрузки), но и при его фиксированном значении с течением времени. Частоты, соответствующие следующим бифуркациям системы не равномерно распределены по временной оси, мощность частот сильно меняется с течением времени, присутствуют окна «включения-выключения» частот. (Табл. 2)

Таблица 2 Сценарий в зависимости от интенсивности шума

Интенсивность шума $p_{n0} = 0.125$		
$p_0 = 0.355$	$p_0 = 0.48$	$p_0 = 0.515$
 <p>1al_nois0512_1212_a01_0.355_gaus32_2Dwa</p>	 <p>1al_nois0512_1212_a01_0.480_gaus32_2Dwa</p>	 <p>1al_nois0512_1212_a01_0.515_gaus32_2Dwa</p>
Интенсивность шума $p_{n0} = 0.75$		
$p_0 = 0.3$	$p_0 = 0.36$	$p_0 = 0.49$
 <p>nal_nois075_1212_a01_0.300_gaus32_2Dwa</p>	 <p>nal_nois075_1212_a01_0.360_gaus32_2Dwa</p>	 <p>nal_nois075_1212_a01_0.490_gaus32_2Dwa</p>

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1972. – 432 с.:
- [2] Корнишин, М.С. Нелинейные задачи теории пластин и пологих оболочек и методы их решения/М.С. Корнишин. М.:Наука. 1964. 192с.
- [3] J. Awrejcewicz , V.A. Krysko, Papkova I.V. Routes to chaos in continuous mechanical systems. Part 1// Mathematical models and solution methods Chaos, Solitons & Fractals. Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena, 45 (2012)
- [4] J. Awrejcewicz, E.Y. Krylova, I.V. Papkova, V.A. Krysko Wavelet-based analysis of the regular and chaotic dynamics of rectangular flexible plates subjected to shear-harmonic loading// Shock and vibration 19 (2012) p. 979-994
- [5] J. Awrejcewicz, V.A. Krysko, E.Yu. Krylova, I.V. Papkova, Analysis of nonlinear dynamics of plates and shells using the Lyapunov exponents and wavelets// Dynamical Systems - Theory, Eds. J. Awrejcewicz, M. Kaźmierczak, P. Olejnik, J. Mrozowski, TU of Lodz Press, 2013, 273-282

Секция – 2
**Программно-аппаратные комплексы в инженерных
расчетах**

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПУСКОМ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ
МЕТОДОМ ГИБРИДНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СЕТЕВОГО
ОПЕРАТОРА**

Д.Б. Хамадияров, аспирант
Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассматривается параллельный гибридный алгоритм численного синтеза робастной системы управления спуском КА на Луну. Робастный метод синтеза состоит в замене множества неопределенных параметров конечным множеством точек из области неопределенности. Вычисление функций качества производится для каждой точки из данного конечного множества. Для повышения эффективности вычислений применяются гибридные подходы распараллеливания.

Ключевые слова: синтез системы управления, робастные системы управления, метод сетевого оператора, параллельный алгоритм.

Рассматривается задача синтеза робастной системы управления, модель объекта управления которой имеет неопределенные параметры. Для решения задачи применяется метод сетевого оператора [3, 9], при котором математические выражения кодируются в форме целочисленных матриц. Для обеспечения свойств робастности каждый неопределенный параметр задается конечным множеством точек. Такое множество неопределенных значений существенно усложняет, а соответственно, замедляет процесс поиска решения, так как вычисление функционалов производится для каждой точки из этого множества. Для повышения эффективности метода сетевого оператора применяется гибридный метод распараллеливания. В работе представлен анализ параллельных алгоритмов метода сетевого оператора. Рассматриваются подходы, обеспечивающие параллельное вычисление функционалов (функций пригодности) на множестве значений неопределенных параметров и параллельное вычисление вариаций для множества базисных решений [4, 8]. В качестве примера рассматривается синтез робастной системы управления посадкой космического аппарата (КА) на поверхность Луны.

Постановка задачи численного синтеза робастного управления представлена в [4].

При использовании эволюционных алгоритмов для практических задач одной из важных проблем является сходимость эволюционных алгоритмов. В теории эволюционных алгоритмов утверждается, что сходимость к глобальному оптимуму достигается тогда, когда решение задачи оптимизации находится алгоритмом за конечное число шагов [6].

Основой всех эволюционных алгоритмов являются генетические алгоритмы [5]. Для проверки сходимости генетических алгоритмов могут использоваться известные целевые функции с известными областями определений, значений, локальными и глобальными экстремумами [7].

Стохастический характер эволюционных алгоритмов приводит к тому, что увеличение области поиска приводит к увеличению вероятности сходимости алгоритмов. Но при сохранении дискретности поиска возрастает время исполнения алгоритма. Для решения подобной проблемы предлагается использование параллельных технологий. Это позволит обработать большую область поиска практически за то же время, что и меньшую. При таком подходе, поиском будут заниматься сразу несколько процессов, из чего следует, что перебор решений будет производиться быстрее.

Для некоторых задач область поиска может быть изначально ограничена, так что возможности расширения области поиска нет. При этом также можно использовать несколько параллельных процессов, и так как размеры пространства не изменились, время перебора всех решений при сохранении дискретности сократится.

Существует несколько моделей распараллеливания генетических алгоритмов [10, 11], из них три основных, остальные являются их расширениями и комбинациями: master-slave (ведущий-ведомый) модель; клеточная модель; распределенная модель. Для распараллеливания метода сетевого оператора используется гибридная модель распараллеливания – смесь master-slave и распределенной моделей (рис. 1). Рассмотренный объект управления имеет неопределенные параметры, при этом процедура вычисления функционалов вызывается для каждого из них. Master-slave модель позволяет ускорить данный процесс, а распределенная модель позволяет расширить область поиска. Для этого основной алгоритм запускается на независимых процессах, но для ускорения сходимости внедряется процедура миграции между ними.

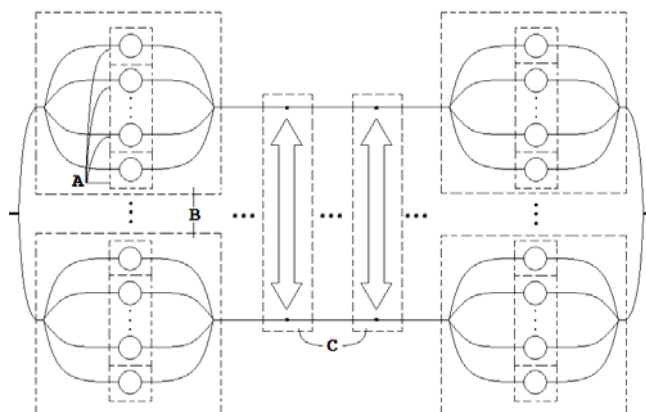


Рис. 1. Гибридная модель распараллеливания – комбинация master-slave и распределенной моделей. **А** – распараллеливание процедуры вычисления функционалов (master-slave модель); **В** – независимые процессы (распределенная модель); **С** – процедура синхронизации (миграции) между процессами.

Для реализации параллельного алгоритма метода сетевого оператора используются различные технологии распараллеливания. Одна из них – технология OpenMP [1], предназначенная для многопроцессорных систем с общей памятью, что накладывает на нее некоторые ограничения, например, невозможность ее использования на системах с распределенной памятью. Таким образом, программное обеспечение, написанное с использованием данной технологии, не может выйти за пределы одной машины. Соответственно, при увеличении сложности решаемой задачи данной технологии будет недостаточно, так как потребуются расширение ресурсов оборудования путем кластеризации. Кластерное оборудование представляет собой совокупность вычислительных машин, объединенных между собой в сеть, используя высокоскоростные шины передачи данных. В данном случае необходимо иметь инструмент параллельной коммуникации между вычислительными машинами для совместного решения задачи. Одной из технологий, позволяющей обеспечить такую коммуникацию, является технология MPI (Message Passing Interface) [2]. MPI – это программный интерфейс, позволяющий описывать обмен информацией между параллельными процессами. В отличие от OpenMP, технология MPI может работать сразу на множестве машин. Она предназначена в первую очередь для систем с распределенной памятью. Для эффективного использования ресурсов оборудования данные технологии применяются вместе. Для расширения области поиска используются независимые процессы, работа которых описывается технологией MPI. Та-

ким образом, работа программы может быть распределена по нескольким отдельным машинам, соединенным между собой в сеть: на каждую машину один MPI-процесс. Каждый MPI-процесс управляет внутренними потоками внутри одной машины, используя технологию OpenMP. Внутренние потоки участвуют в параллельном поиске значений функционалов.

Эксперимент проводился на модели КА, представленной в [4]. Функционал качества и функционал цели управления для данной системы заданы в следующем виде:

$$J_1 = \sum_{i=1}^P \left(|h_f - h(t_f)| + v_1 \cdot |\varphi - \varphi(t_f)| \right) \rightarrow 0, \quad (1)$$

$$J_2 = \sum_1^k \left(|V_f - V(t_f)| + v_2 \cdot |\varphi_f - \varphi(t_f)| \right) \rightarrow 0, \quad (2)$$

где h_f - целевая конечная высота, $h(t_f)$ - реальная конечная высота, V_f - целевая конечная скорость, $V(t_f)$ - реальная конечная скорость, φ_f - целевая конечная дальность, $\varphi(t_f)$ - реальная конечная дальность, $v_1 = 10$, $v_2 = 50$ - весовые коэффициенты для каждого функционала. В отличие от [8] в данном эксперименте использовался функционал с учетом дальности отклонения от планируемой точки посадки.

Для данного эксперимента в качестве неопределенных параметров выбраны начальная высота, с которой начинается процесс посадки и начальный угол наклона. Для распараллеливания применяется комбинация master-slave модели и островной модели распараллеливания. Выбор master-slave модели обуславливается необходимостью вычислять функционалы для нескольких точек из области неопределенных параметров. Выбор островной модели обуславливается содержанием большого количества хромосом в каждой популяции. Перед началом работы алгоритма исследователю предлагается выбрать количество процессоров, используемых на распределение по островам. Учитывая данное значение, программа автоматически вычисляет количество оставшихся процессоров, которое используется для вычисления функционалов. Каждый остров (процесс) имеет в своем распоряжении определенное количество процессоров (под потоки), которые используются для расчета функционалов. Расчет функционалов организован по алгоритму, при котором поток, освободившись от вычисления функционала при определенной точке неопределенных параметров, тут же переходит на следующую точку. Соответственно, в таком режиме запускаются сразу несколько потоков. Каждое полученное значение функционала автоматически суммируется к

значению функционала для каждого возможного решения (хромосомы). Такой процесс заметно ускоряет процедуру расчета функционалов.

Расчет производился на вычислительной машине HP ProLiant DL785 G5 (8×4-х ядерных процессоров по 2,2 ГГц), работающей на операционной системе Linux Mageia 4 x86_64.

Найденные функции управления имеют следующий вид:

$$u_0 = F \cdot (\nu_0 + q_0 + (\nu_2)^3) \cdot s(q_2), \quad (3)$$

$$u_1 = (G - G^3) + \theta(F) + s(E) + \text{sgn}(D) + \exp(C) + \\ + \text{sgn}(\nu_0 + q_0 + (\nu_2)^3) \cdot (\exp(\nu_0 + q_0 + (\nu_2)^3) - 1) + \\ + (B)^2 + (q_2)^3 + \exp(\nu_2) + \text{sgn}(q_0) \cdot \sqrt{|q_0|}, \quad (4)$$

где: $A = s(q_2) \cdot q_1 \cdot \nu_1 \cdot \text{sgn}(q_0) \cdot \ln(|q_0| + 1) \cdot (\nu_0)^3$,

$B = \text{sgn}(A) \cdot (\exp(|A|) - 1) \cdot (\nu_0 + q_0)^2 \cdot (-\nu_2) \cdot s(q_0)$, $C = A \cdot q_2 \cdot \text{sgn}(\nu_0) \cdot \sqrt{|\nu_0|}$,

$D = \exp(C) + \exp(\nu_0 + q_0 + (\nu_2)^3) + (q_2)^3 + s(q_1) + \text{sgn}(\nu_1) \cdot \ln(|\nu_1| + 1)$,

$E = -\frac{1 - \exp(-D)}{1 + \exp(-D)} \cdot (\nu_0 + q_0 + (\nu_2)^3) \cdot (A)^2 \cdot \frac{1}{\nu_1} \cdot (q_0)^3$,

$F = \frac{1 - \exp(-\nu_0 - q_0 - (\nu_2)^3)}{1 + \exp(-\nu_0 - q_0 - (\nu_2)^3)} + (-A) + \text{sgn}(q_2)$,

$\nu_0 = \pi + x_1 + 0.03 \cdot (2 \cdot \text{rand} - 1) \cdot x_1$, $\nu_1 = \frac{1.5 - x_2 + 0.1 \cdot (2 \cdot \text{rand} - 1) \cdot x_2}{H_{0c}}$,

$\nu_2 = x_1 + 0.03 \cdot (2 \cdot \text{rand} - 1) \cdot x_1$, $\text{rand} \in [0;1]$, $q_0 = 3.26019$, $q_1 = 3.07471$,

$q_2 = 1.23193$, $s(t) = \begin{cases} t, & \text{if } |t| < 1 \\ \text{sgn}(t), & \text{иначе} \end{cases}$, $H_{0c} \in [17 \text{ км}; 20 \text{ км}]$.

Функционалы принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} J_1 &= 119.686, \\ J_2 &= 206.38. \end{aligned} \quad (5)$$

Параметры генетического алгоритма: размер эпохи – 25; количество пар в поколении – 128; общее количество поколений: 500; размерность каждой популяции – 1000. Среднее время работы алгоритма при 8 независимых процессах с 4 ведомыми потоками составило 29300 секунд.

Для повышения эффективности алгоритма решения задачи численного синтеза системы управления посадкой КА был разработан параллельный метод сетевого оператора, позволяющий рассмотреть большее коли-

чество возможных решений, чем при вычислении с использованием одного процессора. Соответственно, это увеличивает шансы нахождения подходящего решения. На рис. 2 и рис. 3 показаны процессы моделирования полета КА:

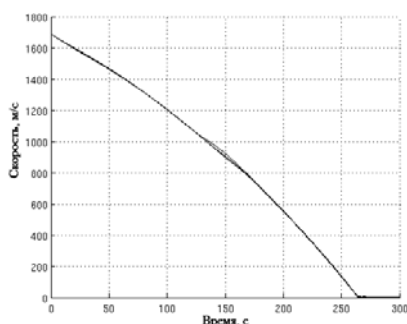


Рис. 2. Изменение скорости.

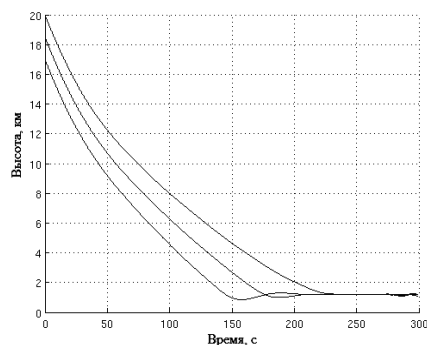


Рис. 3. Изменение высоты при разных начальных условиях

Разработанный метод также позволяет ускорить время работы алгоритма путем распараллеливания области вычисления функционалов. По результатам проведенных вычислений представлены графики, характеризующие эффективность разработанного метода.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 14-08-00008-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Антонов А.С., Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 77 с.
- [2] Геркель В.П., Теория и практика параллельных вычислений / В.П. Геркель. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 423 с.
- [3] Дивеев А.И. Метод сетевого оператора. М.: ВЦ РАН, 2010. 178 с.
- [4] Дивеев А.И., Хамадияров Д.Б., Уваров А.С., Параллельный алгоритм метода сетевого оператора для синтеза робастной системы управления космическим аппаратом // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16770.
- [5] Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л., Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 452 с.
- [6] Back T. Handbook of Evolutionary computation / T. Back, D.B. Fogel, Z. Michalewicz. - Bristol, UK, IOP Publishing, 1997. - 560 p.

- [7] DeJong K.A., An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems, Doctoral Dissertation, University of Michigan Ann Arbor, MI, USA, 1975.
- [8] Diveev A.I., “A Numerical Method for Network Operator for Synthesis of a Control System with Uncertain Initial Values,” Journal of Computer and Systems Sciences International, Vol. 51, No. 2, 2012, pp. 228–243.
- [9] Diveev A., Khamadiyarov D., Shmalko E., Sofronova E.: Intellectual Evolution Method for Synthesis of Mobile Robot Control System// IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2013), Cancún, México, P. 24–31.
- [10] Luque G., Alba E., Parallel Genetic Algorithms, 367 p., ISBN 978-3-642-22084-5, 2011.
- [11] Nowostawski M., Riccardo P., Parallel Genetic Algorithm Taxonomy, KES’99, 1999.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ОС ANDROID ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ

И.В. Прокопьев, *д.т.н.*

Д.Н. Захаров, *к.т.н.*

Е.А. Воронин, *д.т.н.*

ВЦ РАН им. А.А. Дородницына
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

В работе выполнен обзор существующих систем управления роботами, рассмотрены их основные особенности. Предложен проект полуавтономной системы управления. Рассмотрены аспекты его реализации.

Ключевые слова: система управления, Arduino, Android, микроконтроллер, робот, робототехника.

Уровень развития беспроводных технологий обуславливает необходимость в системе позволяющей дистанцировать оператора от робота, освободив оператора от выполнения рутинных низкоуровневых действий. Это определяет актуальность работы и новизну предложенных положений.

Существующие системы управления с применением беспроводных управляющих устройств относятся к классу полностью ручных. Например, квадрокоптеры с программами управления в виде приложений для смартфонов и планшетов.

Системы управления роботами развиваются в нескольких направлениях: полностью автономное управление, полуавтономное и ручное управление. Каждый тип управления пригоден для определенного класса роботов. Промышленные роботы-манипуляторы работают на базе программируемой системы управления, которая записывается в специальную энергонезависимую память. Далее робот работает автономно, исполняя заданную программу. Изменение программы управления требует перезаписи этой памяти [1, 121].

Целью работы является спроектировать описанную систему.

Описание системы. Рассмотрен вариант системы полуавтономного управления роботом манипулятором. Предлагаемая система будет состоять из физического и программного уровней. На физическом уровне составными частями являются несколько компонентов.

Беспроводной пульта управления, реализованного на базе приложения для ОС Android. Данный выбор обусловлен большим количеством доступных и недорогих устройств, в том числе моделей предназначенных для работы в экстремальных условиях, в противоударном и влагозащищенном корпусе. Исполненных в виде планшета или смартфона, рис. 1.



Рис. 1 Устройство на базе ОС Android в защищенном корпусе

Создание приложения для пульта управления облегчается наличием среды разработки с открытым исходным кодом и отличной документацией. Разработка выполняется на языках Java, C++. Положительной стороной приложений созданных для ОС Android является возможность работы на любом устройстве с данной операционной системой. Современные устройства оснащены множеством датчиков полезных для управления манипуляторами. Гироскоп может с успехом применяться для управления движением манипулятора. Наличие нескольких встроенных интер-

фейсов беспроводной связи предоставляет возможность выбора, в зависимости от обстоятельств использования системы управления. В случае работы внутри небольшого помещения для связи пульта и манипулятора предпочтительно использовать технологию Bluetooth, как обладающую наименьшим энергопотреблением, но и малым радиусом действия. Технология связи WiFi пригодна для использования в больших помещениях и на открытых пространствах. Применение данного вида связи гарантирует наибольшую пропускную способность, это дает возможность использования камер на манипуляторе с передачей изображения на пульт оператору. Возможно использование сотовых сетей стандартов 3G и 4G для передачи данных. В рассматриваемом случае это предоставляет все возможности, что и подключение на базе WiFi, в дополнении робот и пульт управления могут находиться на неограниченном расстоянии, главное условие — это нахождение обоих устройств в зоне уверенного приема сигнала сотовой связи. Но использование данного подключения связано с дополнительными расходами в виде платы за объем переданных данных. Достаточная автономность работы современных устройств положительно влияет на удобство использования. Беспроводные пульты управления успешно применяются операторами в крупных предприятиях, с центральной базой данных. Например логистические компании выдают сотрудникам терминалы в виде устройств с ОС Windows Mobile, с сканером штрих-кодов, интерфейсом связи 3G. Следующим преимуществом подобных устройств является их цена.



Рис. 2 Программируемый микроконтроллер Arduino

Следующим компонентом является программируемый микроконтроллер на базе Arduino или совместимой платы с аналогичными функциональными возможностями, рис. 2. Использование подобного типа устройств позволяет значительно сократить затраты на разработку платы управления. Открытая архитектура, доступность средств разработки, отличная документация. Подобные устройства являются модульными. Существует большое количество готовых модулей [2]. В случае отсутствия

модуля с необходимыми возможностями, благодаря открытости архитектуры возможно самостоятельное изготовление. Данный компонент располагается непосредственно на корпусе манипулятора и отвечает за связь с пультом управления по выбранному интерфейсу связи. Робот может иметь сразу все описанные интерфейсы связи. Разработка программного обеспечения осуществляется на языке Wiring. Фактически это C++.

Самым важным компонентом является робот манипулятор, рис. 3. Он может быть произвольной конфигурации. Конфигурация подбирается исходя из финансовых возможностей и круга решаемых задач. Все приводящие в движение приводы, сенсоры, камеры и датчики подключаются проводным интерфейсом к микроконтроллеру Arduino. Питание осуществляется от батареи, емкость и размеры ограничены решаемыми задачами.

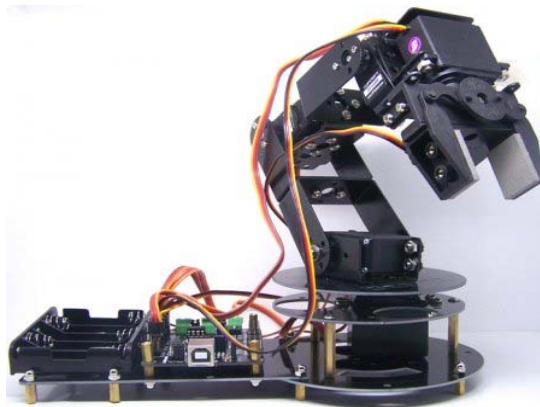


Рис. 3 Робот манипулятор под управлением Arduino

Связь пульта управления и микроконтроллера Arduino на роботе осуществляется по протоколу Bluetooth, WiFi или с использованием сотовых сетей.

Использование описанной конфигурации предоставляет ряд преимуществ: снижение затрат за счет отказа от разработки аппаратного пульта управления и платы управления роботом; быстрая замена пульта в случае выхода из строя; свобода перемещения для оператора и робота; возможность реализации служебных подпрограмм на стороне микроконтроллера Arduino, предоставив оператору инкапсулированный интерфейс управления; возможность управления роботом произвольной конфигурации.

Реализация. Освещены ключевые вопросы реализации описанной системы управления. Подробное описание программной реализации в данной работе не рассматривается.

Пульт управления реализован в виде приложения на языке Java в среде Android Studio для ОС Android версии 5.0.1, рис. 4, 5. Приложение имеет возможность двустороннего обмена данными с микроконтроллером Arduino, что позволяет решить задачу не только управления сервоприводами, но и отображения информации с различных датчиков и сенсоров, расположенных на роботе и подключенных к микроконтроллеру. Это позволяет оператору оценить параметры окружающей среды, в случае если робот работает в условиях неблагоприятных для человека.

```

@Override
public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {
    // Inflate the menu; this adds items to the action bar if it is present.
    getMenuInflater().inflate(R.menu.main, menu);
    return true;
}

@Override
public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item) {
    // Handle action bar item clicks here. The action bar will
    // automatically handle clicks on the Home/Up button, so long
    // as you specify a parent activity in AndroidManifest.xml.
    int id = item.getItemId();

    //noinspection SimplifiableIfStatement
    if (id == R.id.action_settings) {
        return true;
    }

    return super.onOptionsItemSelected(item);
}

//Start new class
//Open: openandroid_robot_arm_navigation_server
private class ConnectedThread extends Thread {
    private final BluetoothSocket socket;
    private final InputStream inputStream;
    private final OutputStream outputStream;

    public ConnectedThread(BluetoothSocket socket) {
        super(socket);
        this.socket = socket;
        this.outputStream = null;
        this.inputStream = null;
        try {
            outputStream = socket.getOutputStream();
            inputStream = socket.getInputStream();
        } catch (IOException e) {}
        this.isUpOut();
        this.isUpIn();
    }

    void isUpOut() {
        try {
            outputStream.write("servo");
            outputStream.flush();
        } catch (IOException e) {}
    }

    void isUpIn() {
        try {
            String str = inputStream.toString();
            if (str != null) {
                Log.d("MainActivity", str);
            }
        } catch (IOException e) {}
    }
}

```

Рис. 4 Разработка программного кода в среде Android Studio

```

<SeekBar
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:id="@+id/seekbar"
    android:layout_below="@id/textView"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:layout_alignParentRight="true"
    android:layout_alignParentEnd="true"
    android:seek="100" />

<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:textAppearance="@android:attr/textAppearanceLarge"
    android:id="@+id/textView"
    android:text="servo"
    android:layout_alignParentTop="true"
    android:layout_centerInParent="true" />

<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:textAppearance="@android:attr/textAppearanceSmall"
    android:text="Small Text"
    android:id="@+id/textView2"
    android:layout_alignParentBottom="true"
    android:layout_centerInParent="true" />
</RelativeLayout>

```

Рис. 5 Реализация интерфейса

Программирование микроконтроллера Arduino выполнено в среде Arduino IDE. Реализован протокол обмена несколькими управляющими

параметрами и данными с датчиков. Протокол не зависит от используемого интерфейса связи. Реализовано управление несколькими сервоприводами, включая низкоуровневые команды, которые выполняются сразу несколькими сервоприводами, например взять объект и т. п. Процесс разработки представлен на рис. 6.



```
servo_serial | Arduino 1.6.4
1 #include <Servo.h>
2 String readString;
3 Servo myServo;
4
5 int servoPos;
6
7 void setup() {
8   // put your setup code here, to run once:
9   Serial.begin(9600);
10  myServo.attach(9);
11  myServo.write(0);
12  }
13
14 void loop() {
15   // put your main code here, to run repeatedly:
16
17   while (Serial.available()) {
18     delay(1); //delay to allow buffer to fill
19     if (Serial.available() > 0) {
20       char c = Serial.read(); //get one byte from serial
21       readString += c; //makes the string readString
22     }
23   }
24
25   if (readString.length() > 0)
26     Serial.println(readString); //now what was received
27 }
```

Рис. 6 Программирование микроконтроллера Arduino

Рассмотрены вопросы проектирования и основные моменты реализации полуавтономной системы управления роботом манипулятором.

Результаты работы полезны для совершенствования существующих систем управления, позволяют снизить их себестоимость и могут быть внедрены на производство.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами // М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 400 с.
- [2] Arduino Shield List: [Электронный ресурс]. М., 2015. URL: <http://shieldlist.org>. (Дата обращения: 19.03.2015).

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ МЕТОДОМ ВАРИАЦИОННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

А.И. Дивеев¹, *д.т.н.*,
С.И. Ибадулла², *аспирант*

1 – ФГБУН Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

2 – Кафедра кибернетики и мехатроники
ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассматривается задача синтеза системы управления. Для решения задачи используется метод вариационного генетического программирования. В отличие от генетического программирования в вариационном генетическом программировании генетические операции выполняются на множествах малых вариаций одного базисного возможного решения. Представлен численный пример синтеза системы управления движением мобильного робота по пространственной траектории.

Ключевые слова: вариационное генетическое программирование, синтез системы управления, мобильный робот.

Численные методы решения задачи синтеза управления стало возможным с появлением генетического программирования [4-6], которое позволяет находить решение в виде многомерной функции, описывающей зависимость управления от координат пространства состояний. При решении задачи методом генетического программирования большинство сгенерированных случайных функций не обеспечивают решения краевой задачи, поэтому их использование в генетических операциях не имеет смысла. С целью решения задачи синтеза управления в работе применяется вариационное генетическое программирование [3], которое использует при поиске принцип малых вариаций базисного решения. Для поиска оптимального решения мы задаем одно базисное решение, которое обеспечивает достижение цели управления, пусть не оптимальным значением оценки качества, и множество малых вариаций базисного решения.

Принцип малых вариаций базисного решения был применен впервые для решения задачи синтеза управления в методе сетевого оператора [1,2]. Данный метод ищет математические выражения, состоящие из функций с одним или двумя аргументами. Метод вариационного генетического программирования не ограничивает количество аргументов у используемых функций.

В работе мы применяем метод для синтеза управления мобильным роботом, движущимся по пространственной траектории.

Математическая модель объекта управления имеет следующий вид

$$\dot{x} = u_1 \cos(\theta), \quad \dot{y} = u_1 \sin(\theta), \quad \dot{\theta} = \frac{u_2}{L} \tan(u_2), \quad (1)$$

где L - постоянный параметр объекта.

Управление объектом ограничено в виде

$$u_1^- \leq u_1 \leq u_1^+, \quad u_2^- \leq u_2 \leq u_2^+. \quad (2)$$

Для системы (1) задано множество начальных условий

$$X_0 = \left\{ [x_{0,1} \quad y_{0,1} \quad \theta_{0,1}]^T, \dots, [x_{0,M} \quad y_{0,M} \quad \theta_{0,M}]^T \right\}. \quad (3)$$

Заданы пространственные траектории в виде

$$\eta_j(x, y) = 0, \quad j = \overline{1, k}. \quad (4)$$

В качестве траекторий рассматривались $k = 4$ траектории, две из которых были гладкими, а две – с разрывами по производным.

Синтез системы управления выполнялся методом вариационного генетического программирования. Рассматривалась стратегия управления стабилизации точек траектории. При вычислительном эксперименте были приняты следующие значения параметров модели и задачи: $L = 4$, $u_1^- = -5$, $u_1^+ = 5$, $u_2^- = -\pi/2$, $u_2^+ = \pi/2$, $M = 4$, $x_{0,1} = -0,5$, $y_{0,1} = -0,25$, $\theta_{0,1} = 0$, $x_{0,2} = -0,25$, $y_{0,2} = -0,25$, $\theta_{0,2} = 0$, $x_{0,3} = -0,5$, $y_{0,3} = 0,25$, $\theta_{0,3} = 0$, $x_{0,4} = -0,25$, $y_{0,4} = 0,25$, $\theta_{0,4} = 0$.

При движении по траектории система управления по заданному уравнению (4) вычисляла точки на траектории и в качестве аргументов синтезирующей функции подавалась разность между текущим положением объекта и точкой на траектории.

В результате синтеза была получена следующая синтезирующая функция:

$$u_i = \begin{cases} u_i^-, & \text{если } \tilde{u}_i < u_i^- \\ u_i^+, & \text{если } \tilde{u}_i > u_i^- \\ \tilde{u}_i, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (5)$$

где

$$\tilde{u}_1 = \arctan \left(f_{3,3} \left(q_1, \delta, \operatorname{sgn}(A) \left(e^{|A|} - 1 \right) \right) - f_{3,3}^3 \left(q_1, \delta, \operatorname{sgn}(A) \left(e^{|A|} - 1 \right) \right) \right),$$

$$\tilde{u}_2 = f_{3,1} \left(\operatorname{sgn}(\sin(\delta)) e^{-|\sin(\delta)|}, \sin^3 \left(e^{q_1} - e^{3q_1} \right), q_2 \right),$$

$$\delta = \theta - \arctan \left(\frac{y^{v,j} - y}{x^{v,j} - x} \right), \quad A = \mu \left(\sqrt{\sin^2(q_2) + \ln^2 |\sin(\delta)|} \right),$$

$$\mu(\alpha) = \begin{cases} \alpha, & \text{если } |\alpha| < 1 \\ \operatorname{sgn}(\alpha), & \text{иначе} \end{cases}, \quad f_{3,3}(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} \beta - \alpha, & \text{если } |\alpha - \beta| < |\alpha - \gamma| \\ \gamma - \alpha, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$f_{3,1}(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} \gamma, & \text{если } \alpha < \beta \\ -\gamma, & \text{иначе} \end{cases}, \quad q_1 = 11,29565, \quad q_2 = 12,13770.$$

На рис 1-4 приведены графики движения мобильного робота с полученным управлением по четырем пространственным траекториям.

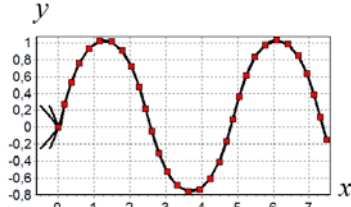


Рис. 1. Движение робота по траектории 1

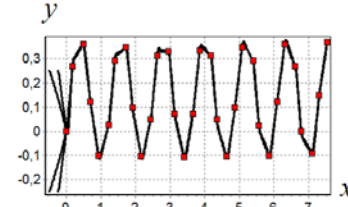


Рис. 2. Движение робота по траектории 2

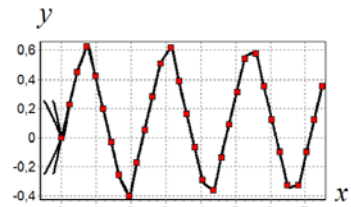


Рис. 3. Движение робота по траектории 3

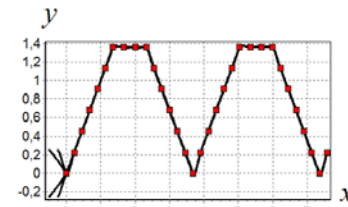


Рис. 4. Движение робота по траектории 4

Работа выполнена по гранту РФФИ № 14-08-00008-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. М.: РУДН, 2012. 182 с.
- [2] Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями// Известия РАН ТИСУ. 2012, № 2. С. 63-78.
- [3] Ибадулла С.И., Дивеев А.И., Софронова Е.А. Решение задачи синтеза системы управления методом вариационного генетического программирования// Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-11697>

- [4] Koza J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press, 1992, 819 p.
- [5] Bourmistrova A., Khantsis S., Genetic Programming in Application to Flight Control System Design Optimization. Chapter in the book New Achievements in Evolutionary Computation, Book edited by: Peter Korosec, 318 p, February 2010, INTECH, Croatia, P. 195-226.
- [6] *Kentaro Oyama and Kenichiro Nonaka* Model Predictive Parking Control for Nonholonomic Vehicles using Time-State Control Form// 2013 European Control Conference (ECC) July 17-19, 2013, Zürich, Switzerland. P. 458-465.

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
ЛЕТАЮЩЕГО РОБОТА ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ТРАЕКТОРИИ МЕТОДОМ ВАРИАЦИОННОГО
АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

А.И. Дивеев¹, *д.т.н.*

Н.Б. Коньрбаев², *аспирант*

1 – ФГБУН ВЦ РАН им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

2 – Кафедра кибернетики и мехатроники
ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассматривается применение метода вариационного аналитического программирования к решению задачи синтеза системы управления летающим роботом. В задаче необходимо найти управление в виде функции от состояния объекта управления. Полученная синтезирующая функция должна обеспечить вычисление управления для движения, летающего робота типа квадрокоптер по пространственной траектории, заданной в виде набора точек. В качестве оценок управления используются критерии суммарной ошибки по отклонению от заданной точки и время движения по траектории. Для решения задачи синтеза используется метод вариационного аналитического программирования, который построен на основе относительно нового метода символьной регрессии, метода аналитического программирования и принципа малых вариаций базисного решения, который используется при эволюционном поиске оптимального возможного решения.

Ключевые слова: синтез системы управления, метод аналитического программирования, летающий робот.

В настоящей работе мы используем метод аналитического программирования для решения задачи синтеза системы управления летающим роботом. Метод аналитического программирования [1,2] представляет собой разновидность метода генетического программирования [3].

Проблем управления движением летающего робота по пространственной траектории состоит в том, чтобы обеспечить точное и быстрое движение по заданным точкам траектории. В процесс реализации управления возникает проблема переключения с одной заданной точки траектории на другую. В работах [4,5] для решения задачи синтеза системы управления летающим роботом используется метод сетевого оператора. Проблема переключения точек решается с помощью синтеза логико-функционального управления или синтеза двух контуров управления, состоящих из системы стабилизации объекта относительно точки и логической системы переключения точек. Метод синтеза обусловлен ограниченным набором функций, которые использует метод сетевого оператора, это функции с одним или двумя аргументами.

Для эффективного применения метода аналитического программирования к решению задачи синтеза управления в работе представлен метод вариационного аналитического программирования [6].

Рассмотрим задачу синтеза управления движением летающего робота по пространственной траектории. Модель объекта управления имеет вид

$$\ddot{x} = \frac{T}{m} \cos \gamma \sin \theta, \quad (1)$$

$$\ddot{y} = \frac{T}{m} \cos \gamma \cos \theta - g, \quad (2)$$

$$\ddot{z} = \frac{T}{m} \sin \gamma, \quad (3)$$

$$\ddot{\gamma} = \frac{M_x}{I_x}, \quad (4)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{M_z}{I_z}, \quad (5)$$

где $T = u_1 + u_2 + u_3 + u_4$, $M_x = u_1 + u_2 - u_3 - u_4$, $M_z = u_1 - u_2 - u_3 + u_4$, u_i - величина силы тяги i -го винта, $i = 1, 2, 3, 4$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $I_x = 0,03 \text{ кгм}^2$, $I_z = 0,03 \text{ кгм}^2$, $m = 1 \text{ кг}$.

Заданы точки пространственной траектории в виде упорядоченного множества значений векторов из трех компонент

$$P = \left([8,5 \ 18 \ 3,5]^T, [8,5 \ 15 \ 8,5]^T, [6 \ 11 \ 8,5]^T, [1 \ 12 \ 7]^T, [2 \ 10 \ 4,5]^T, [5,5 \ 12 \ 5,5]^T, [5,5 \ 15 \ 3]^T, [0 \ 18 \ 0]^T \right). \quad (6)$$

Критерием качества управления являлся функционал

$$J = \sum_{i=1}^M \sqrt{(x(t_i) - x_i)^2 + (y(t_i) - y_i)^2 + (z(t_i) - z_i)^2}, \quad (7)$$

где

$$t_i = \begin{cases} t, & \text{если } \sqrt{(x(t) - x_i)^2 + (y(t) - y_i)^2 + (z(t) - z_i)^2} < \delta, \\ t_{i-1} + \Delta t & \text{иначе} \end{cases}, \quad (8)$$

$$\Delta t = 8 \text{ с.}, \quad \delta = 0,25 \text{ м.}, \quad t_0 = 0.$$

Для системы были заданы следующие начальные значения: $x(0) = \pm 1 \text{ м.}$, $\dot{x}(0) = \pm 1 \text{ м/с.}$, $y(0) = 20 \pm 1 \text{ м.}$, $\dot{y}(0) = 0 \text{ м/с.}$, $z(0) = 0 \text{ м.}$, $\dot{z}(0) = 0 \text{ м/с.}$, $\gamma(0) = 0 \text{ рад.}$, $\dot{\gamma}(0) = 0 \text{ рад/с.}$, $\theta(0) = 0 \text{ рад.}$, $\dot{\theta}(0) = 0 \text{ рад/с.}$

На управление были наложены ограничения

$$T^- \leq T \leq T^+, \quad M_x^- \leq M_x \leq M_x^+, \quad M_z^- \leq M_z \leq M_z^+, \quad (9)$$

$$\text{где } T^- = 6 \quad \text{Н}, \quad T^+ = 16 \text{ Н}, \quad M_x^- = -0,1 \text{ Нм},$$

$$M_x^+ = 0,1 \text{ Нм}, \quad M_z^- = -0,1 \text{ Нм}, \quad M_z^+ = 0,1 \text{ Нм},$$

В результате было получено следующее оптимальное управление:

$$T = \Delta_y \operatorname{sgn}(\Delta_y + \operatorname{sgn} \Delta_y (\Delta_y)^2) \cos^2(\Delta_y + \operatorname{sgn} \Delta_y (\Delta_y)^2),$$

$$M_z = \Delta_x \min \left\{ \left| \ln F_{3,2}(\Delta_y q_{11}^2, q_{11}, \Delta_y) \right|, |\Delta_z| \right\}, \quad M_x = \Delta_z,$$

$$\text{где } \Delta_y = -q_{10} \dot{y} - q_9 (y - y_i) + g + \arctg(\dot{y}) +$$

$$+ \sin(\dot{y}) + (q_6 \theta)^2 - \operatorname{sgn}(y - y_i) \sqrt{q_9 |y - y_i|},$$

$$\Delta_x = -q_5 \dot{\theta} - q_6 \theta + q_7 \dot{x} + q_8 (x - x_i), \quad \Delta_z = -q_1 \dot{\gamma} - q_2 \gamma - q_3 \dot{z} - q_4 (z - z_i),$$

$$F_{3,2}(a, b, c) = \begin{cases} b, & \text{если } b > a \\ c, & \text{если } b \leq a \text{ и } c < a, \\ a, & \text{если } b \leq a \text{ и } c \geq a \end{cases}$$

$$q_1 = 1,075, \quad q_2 = 3, \quad q_3 = 0,527, \quad q_4 = 0,324, \quad q_5 = 1,075, \quad q_6 = 3,$$

$$q_7 = 0,527, \quad q_8 = 0,324, \quad q_9 = 15,51, \quad q_{10} = 15,19, \quad q_{11} = 1,89.$$

Траектории движения летающего робота из четырех начальных условий приведены на рис.1, 2.

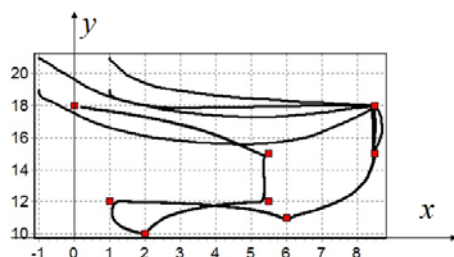


Рис. 1. Движение летающего робота в вертикальной плоскости $\{x, y\}$

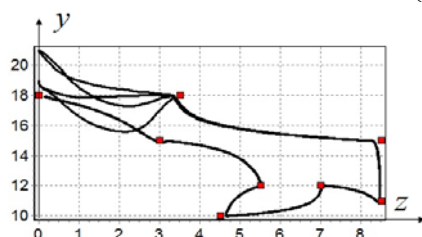


Рис. 2. Движение летающего робота в вертикальной плоскости $\{y, z\}$

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-08-00008-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zelinka I. Analytic programming by Means of Soma Algorithm// Mendel '02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic, 2002, P. 93-101.
- [2] Zelinka I., Oplatkova Z. Analytic programming // Comparative Study. CIRAS'03, The second International Conference on Computational Intelligence, Robotics, and Autonomous Systems, Singapore, 2003.
- [3] Koza J. R., Keane M. A., Rice J. P. Performance improvement of machine learning via automatic discovery of facilitating functions as applied to a problem of symbolic system identification //IEEE International Conference on Neural Networks I. 1993. San Francisco, USA. 1993. P. 191—198.
- [4] Атиенсия Вильягомес Х.М., Дивеев А.И. Метод сетевого оператора для синтеза интеллектуальной системы управления динамическим объектом // Электронный журнал «Cloud of Science» 2014. Том 1. №2. 1. С. 191-198.
- [5] Атиенсия Вильягомес Х.М., Дивеев А.И. Численный метод синтеза логико-функционального управления динамическим объектом// Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3 URL: www.science-education.ru/103-6530.

- [6] Дивеев А.И., Коньрбаев Н.Б. Вычислительный метод вариационного аналитического программирования для синтеза системы управления // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12401>.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ НА C# ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ СЕТЕВОГО ОПЕРАТОРА

А.В. Доценко

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассматривается задача поиска оптимального математического выражения. Решение задачи осуществляется методом сетевого оператора. Представлен программный комплекс, реализованный на C# и предназначенный для решения таких задач как интерполяция и синтез системы управления движением мобильного робота на плоскости методом сетевого оператора.

Ключевые слова: сетевой оператор, программный комплекс, интерполяция, синтез системы управления.

Основная задача, для решения которой необходимо использовать метод сетевого оператора, - это поиск нужного математического выражения. Численные методы решения задачи синтеза управления стало возможным с появлением генетического программирования [2]. К таким задачам следует отнести аппроксимацию, идентификацию, синтез структуры системы автоматического управления [1]. Сетевой оператор, основанный на принципах генетического алгоритма, генерирует множество возможных решений (хромосом) в виде строк символов, где каждая хромосома представляет собой математическое выражение.

Матрица сетевого оператора представлена как матрица верхнетреугольного вида. Результат вычислений получают посредством последовательной обработки элементов матрицы. В методе сетевого оператора представление математического выражения не требует лексического анализа строк, что сокращает время вычислений.

Интерполяция. В роли экспериментальных данных выступает набор аргументов $x \in \{X\}^N$, которым ставятся в соответствие значения

$y \in \{Y\}^N$. Задача сетевого оператора – сгенерировать аналогичную функцию.

Для решения данной задачи было предусмотрено два функционала. Для подсчёта первого функционала находится такой аргумент x_i $i=1, N$, для которого разница $|y_i^{CO} - y_i^Э|$ - наибольшая. Рассчитывается расстояние $d = \max_{y_i^Э \in \{Y\}} |y_i^{CO} - y_i^Э|$. Таким образом, первый функционал сводится к

минимизации расстояния d : $J_1 = d \rightarrow \min$. Во втором функционале минимизируется сумма модулей разностей значений функции, представляющей экспериментальные данные и функции, подобранной сетевым

оператором: $J_2 = \sum_{i=1}^N |y_i^{CO} - y_i^Э| \rightarrow \min$.

После отработки алгоритма, выбирается лучшая по Парето функция сетевого оператора.

Пример представлен на рис. 1-4. На рисунках точками обозначены данные, полученные экспериментальным путём. Необходимо найти функцию, описывающую данную зависимость.

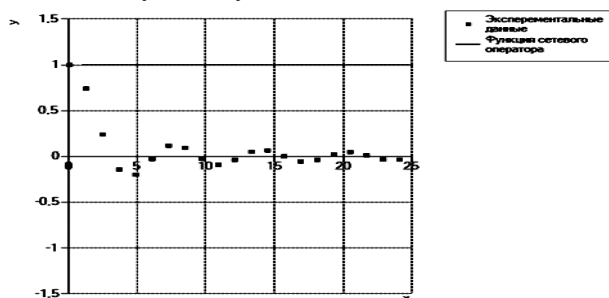


Рис. 1. Базисное решение, заданное оператором

C# - мультипарадигменный язык программирования, относящийся к семье языков с C-подобным синтаксисом.

Семантика языка:

- Императивный

Класс языка:

- Объектно-ориентированный
- Обобщённый
- Процедурный
- Императивный
- Функциональный

- Событийный
- Рефлексивный

Система типов:

- Статическая
- Динамическая
- Строгая
- Утиная

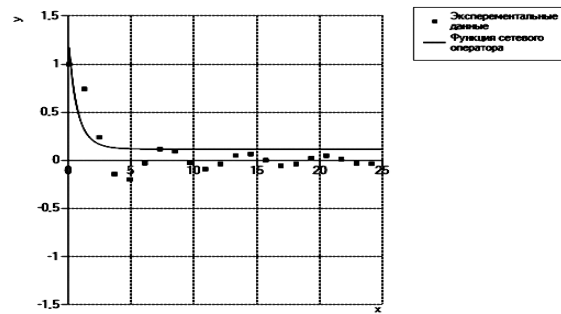


Рис. 2. Базисное решение, полученное по прохождении некоторого числа поколений (этап 1)

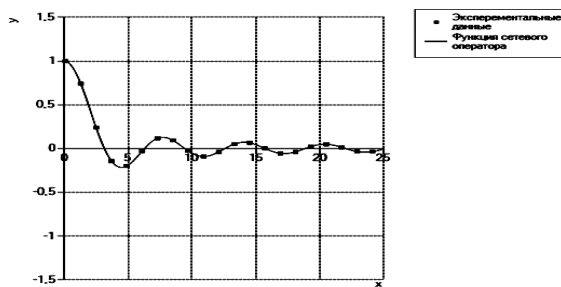


Рис. 3. Базисное решение, полученное по прохождении некоторого числа поколений (этап 2)

Моделирование движения робота.

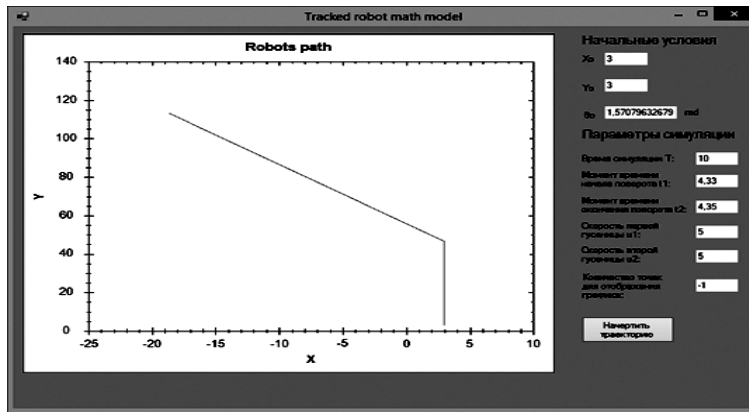


Рис. 4, Моделирование движения мобильного робота на языке C#

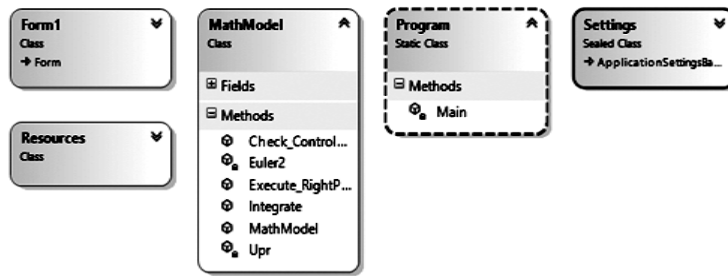


Рис. 5, Диаграмма классов моделирования движения робота
Синтез системы управления движением мобильного робота.

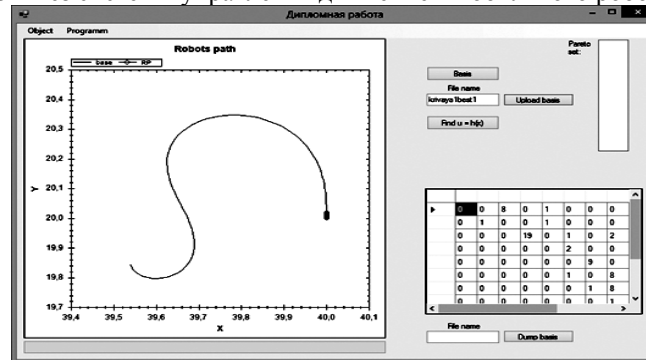


Рис. 6, Интерфейс программы синтеза функции управления

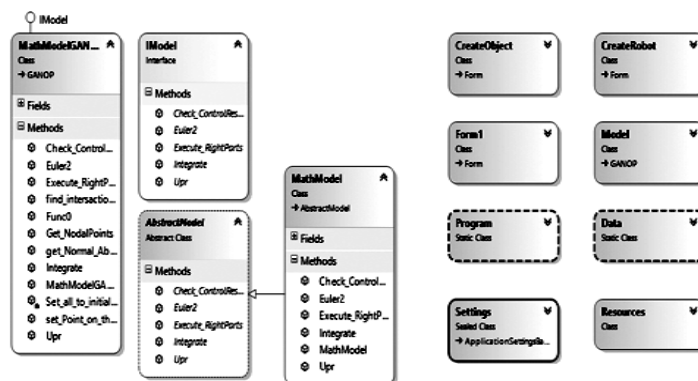


Рис. 7. Диаграмма классов синтеза функции управления

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. М.: РУДН, 2012. 182 с.
- [2] Bourmistrova A., Khantsis S., Genetic Programming in Application to Flight Control System Design Optimization. Chapter in the book New Achievements in Evolutionary Computation, Book edited by: Peter Korosec, 318 p, February 2010, INTECH, Croatia, P. 195-226.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕТЕВОГО ОПЕРАТОРА ДЛЯ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

А.С. Тихомиров

Кафедра кибернетики и мехатроники
 ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
 ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В работе описывается применение метода сетевого оператора для логического вывода динамической экспертной системы на примере перемещения мобильного робота в терминальные точки по комнате с препятствиями. При решении данной задачи используется подход на основе новых методов генетического программирования и сетевого оператора.

Ключевые слова: экспертная система, сетевой оператор, интеллектуальная система управления.

В работе ставится задача аппроксимации логического вывода экспертной системы, то есть ее цель заключается в том, чтобы для любого момента времени найти оптимальный выход экспертной системы в виде функции, с заданными параметрами. Актуальность выбранной темы состоит в том, что методов и подходов для решения задачи аппроксимации логического вывода экспертной системы на сегодняшний день известно не очень много. В работе при решении данной задачи используется подход на основе новых методов генетического программирования и сетевого оператора [1].

Рассмотрим общую постановку задачи аппроксимации логического вывода экспертной системы. Дана некоторая часть экспертной системы и заданы терминальные точки. Необходимо аппроксимировать логический вывод экспертной системы, обеспечив достижение терминальных точек и минимизировать заданные функционалы качества.

В данной работе в качестве наглядного примера используется замкнутая комната с препятствиями, в которой мобильный робот должен переместиться в некоторые терминальные точки. Для этого была создана программа на основе генетического алгоритма

Рассмотрим интеллектуальную систему управления [2] с динамической экспертной системой. Система управления использует базу знаний экспертной системы для выработки управления на основе функции логического вывода или принятия решений. Задача заключается в том, чтобы по входным данным, получаемым из базы знаний и известным решениям или выводам, полученным с помощью экспертов аппроксимировать функцию логического вывода. При большом количестве исходных данных и известных решений, полученная в результате аппроксимации функция логического вывода должна обеспечивать получение правильного решения для значений не рассмотренных в процессе обучения. Если полученная функция логического вывода, которая для большинства известных аргументов всегда находит необходимое решение, то наличие экспертной системы в контуре управления не требуется.

Как было сказано ранее, для примера была рассмотрена задача о достижении мобильным роботом терминальных точек, расположенных в замкнутой комнате с препятствиями. Экспертом были составлены оптимальные пути движения робота из разных точек этой комнаты и введены в экспертную систему продукционного вида, часть которой была загружена в программный комплекс. Координаты терминальных точек (целей): (0, 10), (7, 15), (15, 5). Управление: вперед – 0, вправо – 1, назад – 2, влево – 3.

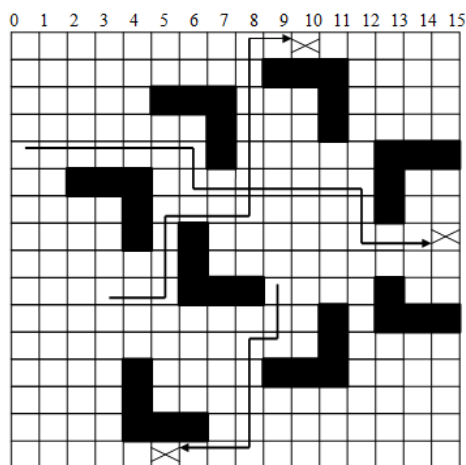


Рис. 1 Комната с препятствиями

Если робот находится в точке (0,1) и движется к цели № 3, то он выбирает путь движения (управление) 2, исходя из выхода экспертной системы. Если робот находится в точке (5,14) и движется к цели № 2, то он выбирает путь движения (управление) 1.

После загрузки экспертной системы в программу, производится обучение робота с помощью генетического алгоритма на основе сетевого оператора. Для поиска решений используем генетический алгоритм с параметрами, приведёнными в Таблице № 1.

Таблица 1

Параметры генетического алгоритма

Параметр	Значение
Размер начальной популяции хромосом или возможных решений	512
Число поколений	512
Число пар в одном поколении	128
Число изменений в одной хромосоме	8
Число функционалов	2
Число искомых параметров	3
Число поколений в одной эпохе между сменой базисного решения	10
Число элитарных хромосом	32
Параметр для скрещивания	0.4
Вероятность мутации	0.7
Размер матрицы сетевого оператора	32
Число переменных	3
Число выходных параметров	2

В качестве критериев обучения использовали: число точек, которые удалось обучить и суммарное отклонение оптимального управления от полученного в результате обучения.

В первом эксперименте 299 введённых точек экспертной системы, мы смогли обучить робота только на 214 точек ($299-85=214$). Результаты моделирования первого эксперимента приведены на рис. 2,3.

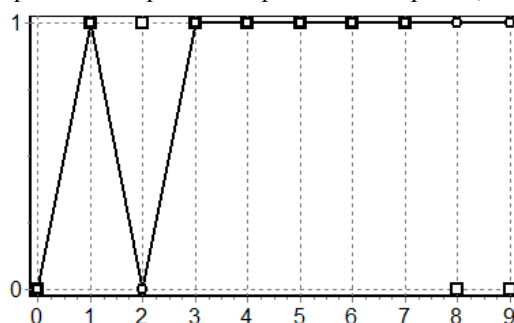


Рис. 2 Результат сравнения работы полученной функции с выходами экспертной системы

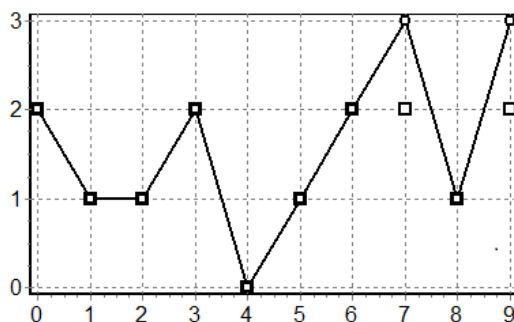


Рис. 3 Результат сравнения работы полученной функции с выходами экспертной системы

Из полученных результатов мы можем сделать вывод, о количестве совпавших точек :

Взяли выборку из 100 случайных точек: $\frac{7}{10} + \frac{8}{10} + \frac{7}{10} + \frac{7}{10} + \frac{9}{10} + \frac{5}{10} + \frac{6}{10} + \frac{7}{10} + \frac{9}{10} + \frac{8}{10} = \frac{73}{100}$, и получили 73% совпадений, учитывая то, что введённая часть экспертной системы даёт только $\frac{214}{648} \approx 33\%$ совпадений. Следовательно, полученная нами функ-

ция даёт достаточно хороший результат и может уже сейчас заменить собой данную экспертную систему.

Для получения более точного результата алгоритм был запущен ещё несколько раз. В дальнейшем удалось из 299 введённых точек экспертной системы обучить робота на 227 точек ($299-72=227$).

Результаты моделирования со сравнением решения от полученной формулы с изначальной экспертной системой представлены на рис. 4, 5:

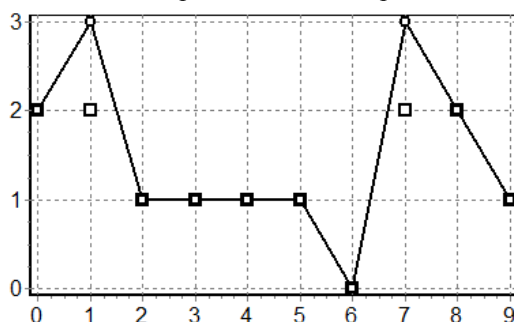


Рис. 4. Результат сравнения работы полученной функции с выходами экспертной системы

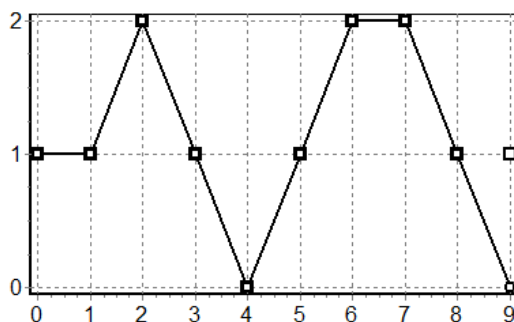


Рис. 5. Результат сравнения работы полученной функции с выходами экспертной системы

Из графиков видно, что полученная формула удовлетворяет нас, как решение поставленной задачи аппроксимации логического вывода экспертной системы, т.к. при сравнении результатов, полученных с помощью формулы и результатов из изначальной экспертной системы, видим, что вероятность их совпадения для выборки из 100 случайных точек достаточно велика:

$$\frac{8}{10} + \frac{6}{10} + \frac{9}{10} + \frac{6}{10} + \frac{9}{10} + \frac{9}{10} + \frac{8}{10} + \frac{7}{10} + \frac{7}{10} + \frac{7}{10} = \frac{76}{100},$$

то есть мы получили 76% совпадений, учитывая то, что введенная часть экспертной системы даёт только $\frac{227}{648} \approx 35\%$ совпадений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. – М.:РУДН, 2012.-182 с.
- [2] Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы.М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003.

ВЕРИФИКАЦИЯ UML МОДЕЛЕЙ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОМОЩИ АБСТРАКТНОЙ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ UML MAP

М.Е. Волович¹, *к.т.н.*

О.А. Дерюгина^{1, 2, 3}, *аспирант*

1 – Московский государственный университет приборостроения и информатики
107996, г. Москва, ул. Стромьнка, д.20

2 – Московский технологический институт
119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 38а

3 – Российский государственный социальный университет
129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, дом 4, стр.1

В статье предложена ссылочная абстрактная структура данных UML Map, позволяющая производить верификацию UML моделей программных систем. Описывается структурная схема UML Map, приводится пример отображения тега XMI в объект класса UML Map. Рассмотрены преимущества и недостатки предлагаемой структуры данных. Предложены пути для дальнейшего научного поиска.

Ключевые слова: UML, XMI, верификация, верификация UML, проектирование программного обеспечения, архитектура программного обеспечения, model checking, структура данных.

В настоящее время активно развивается поисковый подход к объектно-ориентированному проектированию программного обеспечения[3,4], состоящий в применении эволюционных алгоритмов для получения UML диаграмм разрабатываемой системы, эффективных с точки зрения взвешенных объектно-ориентированных метрик.

При трансформации UML диаграмм в ходе эволюционного поиска неизбежно возникает необходимость верификации трансформируемой UML диаграммы после выполнения операций скрещивания и мутации.

Помимо этого, задача верификации ставится как при создании UML модели проектируемой системы разработчиком, так и при автоматической генерации UML модели на основе формальных спецификаций к функциональности системы.

Для верификации UML моделей на предмет целостности и согласованности проектируемой программной системы сформулированы следующие требования[2]:

1. При создании диаграмм действий и последовательности необходимо, чтобы все вызовы(диаграммы последовательности) и действия (диаграммы действий) использовали только методы и атрибуты, представленные на диаграмме классов.
2. В диаграммах состояний могут использоваться только методы и атрибуты, присутствующие на диаграмме классов.
3. Все имена, используемые в описании диаграмм, кроме диаграммы прецедентов должны содержать только элементы диаграммы классов и объекты-экземпляры специфицированных классов.
4. Все прецеденты на диаграмме прецедентов должны присутствовать на диаграмме классов.
5. Все блоки диаграммы деятельности должны быть отображены на диаграмме классов.
6. Все классы должны быть размещены по компонентам на диаграмме компонентов.
7. На диаграмме классов не должно быть методов, которые присутствуют только на диаграмме классов.
8. Стереотипы компонентов (исполнимые файлы, .dll и т.д.) должны быть размещены на диаграммах внедрения
9. При композиции и агрегации типы данных должны совпадать.
10. Если класс поддерживает интерфейс, он должен реализовывать все его методы.

Для удобства верификации и трансформации предложено[2] индексированное представление UML диаграммы в виде ссылочной абстрактной структуры данных (АСД) UML Map (см. рис. 1).

Каждая диаграмма содержит хеш-таблицы своих структурных элементов. Например, диаграмма классов содержит хеш-таблицы classes (классы), relations (отношения), interfaces (интерфейсы). В среднем трудоёмкость поиска (активно используемого в процессе верификации), добавления, редактирования и удаления (активно используемых при трансформации) – $O(1)$.

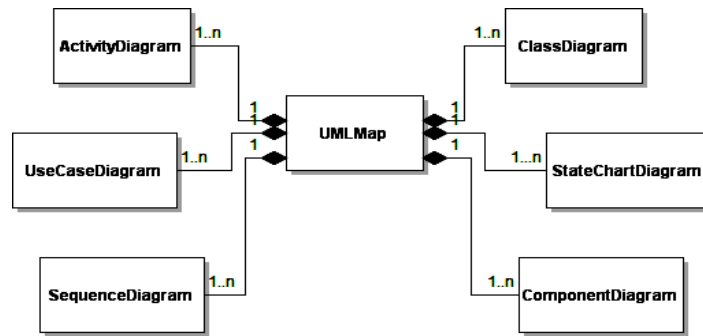


Рис. 1. Диаграмма классов, описывающая ссылочную АСД UMLMap

Для отображения UML модели системы в формате XML[1] в структурные элементы UML Map предложен транслятор, отображающий теги XML файла и их атрибуты в поля и объекты АСД (см. Рис 2 – пример соответствия между тегом <packagedElement type="xmi:Class"> и полями класса Class).

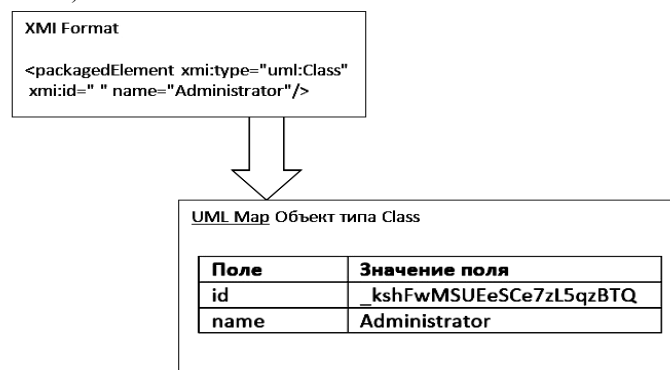


Рис. 2. Соответствие между тегом в формате XML и значениями полей объекта типа Class

Для реализации верификации модели программной системы, представленной в виде АСД UML Map, в состав АСД включены индексы <имя_класса, id>, <имя_отношения, id>, <имя_useCase, id>, <имя_интерфейса, id>, <имя_метода, id>.

Таким образом, например, для того, чтобы проверить, содержит ли диаграмма классов класс с указанным именем name, достаточно проверить индекс с именами класса и id (classes.containsKey(name)).

Для проверки, содержит ли класс с именем class_name метод с именем operation_name, задействованный, к примеру, на диаграмме активностей (там он будет выглядеть как class_name.operation_name()), нужно по

индексу <имя_класса, id> получить id класса, перейти к нужному классу с использованием хеш-таблицы classes<id,Class>, хранящейся в classDiagram, и проверить в его индексе <имя_метода, id> наличие метода с указанным именем.

Предполагается, что алгоритм верификации будет состоять в следующем: на вход системы верификации подаются требования к системе, представленные в виде высказываний логики предикатов, и модель программы, представленная в виде АСД UML Map. Затем транслятор распознает спецификации системы и выполняет проверку системы на выполнение спецификаций.

Надо отметить, что предложенная АСД, обеспечивая быстрый поиск элементов и трансформацию UML моделей, может занимать большой объём памяти для систем программного обеспечения большого размера.

Кроме того, существует проблема необходимости обновления индексов предложенной АСД после каждой операции редактирования системы, что влечёт за собой дополнительные накладные расходы.

В будущем планируется провести экспериментальные исследования верификации отображения на UML Map моделей систем малого, среднего и большого размеров для оценки порядка роста расходования памяти по мере роста размеров системы.

Также целесообразным будет организовать репозиторий с контролем версий UML моделей, позволяющий производить откат трансформации в случае непрохождения UML моделью верификации после выполнения операций скрещивания и мутации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] XML Metadata Interchange (XMI) Specification. Version 2.4.2 [http://www.omg.org/spec/XMI/2.4.2].
- [2] Волович М. Е., Дерюгина О. А. Верификация UML моделей программных систем // Cloud of Science. 2015. №1.
- [3] Дерюгина О. А. Применение методов поисковой программной инженерии для решения задач объектно-ориентированного проектирования архитектуры приложений // Образовательная среда сегодня и завтра. Сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции. под общей редакцией Г.Г. Бубнова, Е.В. Плужника, В.И. Солдаткина. 2014. – С. 197-200.
- [4] Плужник Е.В., Никульчев Е.В., Лукьянчиков О.И. Проектирование распределенных информационных систем обработки больших объемов данных в гибридной облачной инфраструктуре // Вестник Рязанского радиотехнического университета. 2014. № 4

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПИСАНИЯ

О.В. Бобр

Кафедра кибернетики и мехатроники
ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены методы решения задачи расписания и приведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: составление расписания, приближенные методы, метод отжига, генетический алгоритм.

В настоящее время для решения задач расписания наибольшее распространение получили следующие подходы и методы:

- методы математического целочисленного и булевого программирования;
- комбинаторные подходы;
- динамическое программирование и методы анализа и отсева вариантов;
- методы ветвей и границ;
- методы глобального случайного поиска и локальных вариаций, перестановочные стратегии;
- генетические алгоритмы и эволюционные стратегии;
- эвристические методы [1].

Так как задачи построения расписания относятся к классу NP-полных задач, то для алгоритма, корректно решающего эту задачу, необходимо экспоненциальное количество времени для нахождения точного решения. Причем такие алгоритмы применимы к задачам малой размерности. Что же касается задач большой размерности, то ни один из предложенных выше алгоритмов не дают точного решения за приемлемое время. В связи с этим возникла необходимость в разработке методов, которые позволяли получить приемлемое решение при незначительных затратах времени. Эти методы получили название приближенных методов решения задач. К ним можно отнести:

- метод глобального случайного поиска и локальных вариаций;
- генетические и эволюционные алгоритмы;
- эвристические методы.

Для решения задачи построения расписания проанализируем следующие алгоритмы, которые относятся к приближенным:

- алгоритмы случайного поиска с модификациями;
- алгоритмы имитации отжига;

- генетические и эволюционные алгоритмы.

Схематично работу вышеуказанных алгоритмов можно описать следующим образом:

1. Задать начальное решение X_0 .
2. Вычислить целевую функцию $f(X_k)$ и проверить выполнение критериев $\varphi(X_k)$ и $X_k \in S$.
3. Получить решение X_{k+1} .
4. Если критерий останова не достигнут, то перейти к шагу 2, в противном случае алгоритм завершает работу.

Отличие работы алгоритмов случайного поиска и имитации отжига от генетических и эволюционных алгоритмов заключается в количестве решений, с которыми работают эти алгоритмы: одним решением – алгоритмы поиска и имитации отжига, с неким множеством значений $\{X\}$ – генетические и эволюционные алгоритмы. Рассматриваемые алгоритмы имеют различную динамику получения вектора X_{k+1} , но объединяет то, что формирование вектора X_{k+1} носит случайный характер. Поэтому работа этих алгоритмов может отличаться количеством итераций и качеством итогового решения.

Алгоритмы случайного поиска с модификациями. Эти алгоритмы относятся к алгоритмам нелинейного математического программирования.

Основой алгоритмов случайного поиска является итерационный процесс:

$$X_{k+1} = X_k + \alpha_k \cdot \xi, \quad k = 0, 1, \dots,$$

где α_k - шаг алгоритма, ξ - некая величина случайного вектора.

Работа всех алгоритмов случайного поиска направлена на улучшение текущего значения X_k , делая шаг α .

Выделяют алгоритмы случайного ненаправленного и направленного поиска.

К ненаправленным алгоритмам случайного поиска относится метод Монте-Карло. С помощью этого метода идет поиск оптимального решения с помощью многократного случайного поиска из допустимых решений и запоминания лучшего:

$$X_{k+1} = \xi, \quad k = 0, 1, \dots$$

Алгоритмы направленного случайного поиска для оптимизации промежуточного решения X_k делают шаг от данного решения.

В свою очередь алгоритмы случайного направленного поиска можно разделить на самообучающиеся алгоритмы, которые целенаправленно воздействуют на выбор случайного вектора X_k , и алгоритмы без самообучения. В алгоритмах с самообучением вектор ξ получает приоритет в поиске лучших шагов. К алгоритмам направленного случайного поиска без самообучения относятся алгоритм с парной пробой, алгоритм с возвратом при неудачном шаге, алгоритм с пересчетом при неудачном шаге, алгоритм с линейной экстраполяцией, алгоритм наилучшей пробы, алгоритм статистического градиента [2].

Алгоритмы случайного направленного поиска с самообучением целенаправленно воздействуют на случайный вектор ξ . Этот вектор приобретает некое преимущество в выборе направления наилучших шагов. Введя вектор q , алгоритм корректирует этот вектор на каждой итерации в зависимости от изменения целевой функции.

К достоинствам алгоритмов случайного поиска можно отнести:

- простота;
- устойчивость;
- интуитивная понятность.

Недостатками алгоритма является:

- низкая сходимость;
- неопределенность в выборе условия останова.

Ввиду достоинств огромного числа алгоритмов случайного поиска они с успехом применяются при решении практических инженерных задач

Алгоритм имитации отжига. Алгоритм позволяет делать переход к значению целевой функции с более лучшим значением:

$$f(X_k) = \begin{cases} X_{k+1}, & \text{если } \Delta \leq 0 \\ \exp\left(-\frac{\Delta}{T}\right), & \text{если } \Delta > 0, \end{cases}$$

где T - некая температура, $\Delta = f(X_{k+1}) - f(X_k)$.

Целевая функция соответствует энергии состояния тела, а абсолютный минимум этой энергии – глобальному минимуму [3]. В начале рабо-

ты алгоритма задается высокая температура. Затем она постепенно снижается. Алгоритм продолжает поиск минимума до тех пор, пока система его не достигнет и выйти из него она уже не сможет.

Алгоритм имитации отжига позволяет находить глобальный минимум функции нескольких переменных [3].

К недостаткам этого метода относятся: длительность имитационного процесса, невозможность возобновления процесса из различных точек в пространстве параметров, большая зависимость от выбора начальных параметров.

Генетические и эволюционные алгоритмы. Основоположником генетических алгоритмов считается Джон Холланд. В 1975 в своем основополагающем труде «Адаптация в естественных и искусственных системах» он изложил основные принципы работы генетического алгоритма. Схематично работу генетического алгоритма можно описать следующим образом:

1. Генерируем начальную популяцию;
2. Вычисляем значение целевой функции;
 - Начало цикла
 1. Выбор индивидов из текущей популяции;
 2. Выполняем операцию отбора (селекция);
 3. Выполняем операцию скрещивания;
 4. Формируем новую популяцию;
 5. Если не достигнут критерий останова, то переходим к п.1 (начало цикла), иначе работа завершена (конец цикла).

В качестве начальной популяции может быть представлен любой набор строк. В генетических алгоритмах популяция представляется битовыми строками, а в эволюционных – векторами действительных чисел. Основные операции алгоритма выполняются над элементами популяции. В итоге получаем новую популяцию. Пока не будет достигнут критерий останова итерационный процесс продолжается.

Формирование новой популяции обеспечивается в результате работы алгоритма на шагах 2, 3.

Операция скрещивания может осуществляться простейшим одноточечным скрещиванием.

Главное сходство работы генетических и эволюционных алгоритмов заключается в использовании популяции потенциальных решений и реализации принципа селекции и преобразовании наиболее приспособленных особей. Отличий несколько:

- способ представления особей;
- организация процесса селекции;
- последовательность выполнения процедур селекции и рекомбинации;

- изменяемость параметров [3].

Сравнительный анализ алгоритмов. После изучения выше описанных алгоритмов можно сделать следующие выводы:

- из алгоритмов направленного случайного поиска без самообучения можно выделить алгоритм с линейной экстраполяцией, который обладает повышенной сходимостью по сравнению с остальными алгоритмами случайного поиска без самообучения. Алгоритм делает двойной рабочий шаг в противоположном направлении в случае неудачного пробного шага. Целевая функция и ограничения в этой точке не вычисляются, а экстраполируются. Однако, в случае нелинейности целевой функции в зоне поиска этот алгоритм плохо работает;

- при увеличении сложности целевой функции скорость сходимости алгоритма случайного направленного поиска с самообучением стремится к скорости сходимости алгоритма случайного направленного поиска без самообучением;

- при медленном понижении параметра T алгоритмы имитации отжига позволяют найти экстремум близкий к глобальному. Если понижать этот параметр не очень медленно, то число итерации уменьшится, и экстремум может не найти. В настоящий момент остается не решенной проблема зависимости понижения параметра T и сложность целевой функции;

- генетические алгоритмы на данный день остаются самыми универсальными. Они не требуют большого числа итераций. Однако разработать генетический алгоритм, который решал большой круг практических задач и имел высокую сходимость остается наиболее сложной.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок: Зак Ю.А. - Либроком, 2012 г.
- [2] Алгоритмы оптимизации, основанные на методе проб и ошибок: Костенко В.А. – МГУ им. Ломоносова, 2013 г.
- [3] Нейронные сети для обработки информации, Осовский С. / Пер. с польского И.Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2002 г.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ, ПОСТРОЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЧНЫХ МЕТОДОВ

В.О. Чинакал, к.т.н.

Федеральное государственное учреждение науки Институт
проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН г. Москва, РФ

Рассматриваются особенности разработки и применения встраиваемых интеллектуальных компонентов (ВИК), построенных с использованием матричных методов и предназначенных для использования в системе интеллектуальной поддержки управления подвижными динамическими объектами (ПДО). Разработана структура системы поддержки управления ПДО, использующей матричные продукционные модели представления знаний в ВИК. Приведены примеры использования такой модели в подсистеме обеспечения безопасности движения ПДО.

Требования по обеспечению эффективной и безопасной эксплуатации современных подвижных динамических объектов (ПДО) все более повышаются, заставляя разработчиков комплексных систем управления (КСУ) такими объектами использовать в своих проектных решениях новые перспективные направления, подходы, методы и алгоритмы контроля и управления ПДО. Наибольшую сложность и наиболее жесткие требования предъявляются к реализации задач контроля и управления в КСУ при использовании автоматических режимов эксплуатации ПДО, например, при создании КСУ автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА) [1]. В процессе выполнения каждой рабочей миссии таких аппаратов необходимо автоматическое решение в реальном времени целого комплекса иерархических взаимосвязанных задач контроля и управления ПДО, включая ряд интеллектуальных задач, традиционно решавшихся человеком-оператором. На нижнем уровне управления (НУ) ПДО штатная КСУ такого аппарата должна обеспечивать контроль работы и координированное управление всеми подсистемами и техническими средствами управления (ТСУ) АНПА. На верхнем уровне (ВУ) КСУ необходимо обеспечить оперативное решение комплекса задач по выполнению поставленной миссии, включая корректировку текущих заданий на траекторию и режимы движения АНПА в зависимости от изменяющейся внешней обстановки, текущих оценок состояния АНПА и работоспособности ТСУ.

Выполнение традиционных функций автоматического контроля и управления пространственным движением и навигацией АНПА должно обеспечиваться с учетом динамики объекта, ограничений по запасам энергоресурсов, имеющихся ограничений на управление, оценок теку-

щего состояния ТСУ, заданий на траекторию движения и выполнение целевых операций данной миссии. Требования на выполнение миссии АНПА включают контроль выполнения этапов основного задания и программ каждого этапа миссии и, если необходимо, корректировку текущей программы. Для реализации этих требований необходимо обеспечить автоматическое формирование в реальном времени текущих оценок параметров движения и положения АНПА, оценить степень выполнения этапов миссии, обнаруживать различные внешние статические и динамические траекторные угрозы, оценивать запас оставшихся ресурсов по энергетике и контролировать состояние ТСУ и специальных функциональных устройств.

Одним из перспективных путей повышения качества работы штатной КСУ ПДО является использование современных интеллектуальных методов (ИМ) при решении задач контроля и управления сложными объектами [2,3,4].

В [2] рассмотрена разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений в сложной обстановке операторами различных постов управления ПДО. В [3] рассмотрен подход построения КСУ, использующей локальные интеллектуальные компоненты, выполняющие функции поддержки отдельных задач управления штатной КСУ ПДО.

В данной работе рассматриваются возможности создания общей распределенной интеллектуальной системы поддержки автоматического контроля и управления (ИСПУ), построенной на базе взаимосвязанных встраиваемых интеллектуальных компонентов (ВИК), взаимодействующих как со штатными подсистемами КСУ, так и между собой. Для иллюстрации основных проблем и задач, решаемых с применением ВИК, рассмотрим вопросы создания и использования ВИК на примере проработки отдельных подсистем прототипа ИСПУ АНПА [3].

1. Основные решаемые задачи

К основным задачам, при решении которых целесообразно использовать ВИК в КСУ относятся:

- задачи определения возможных статических и динамических траекторных угроз, решаемые на основе обработки оперативных данных подсистем навигации, 3-х мерных цифровых карт, эхолотов, гидроакустического комплекса и других средств;
- формирование текущих оценок и прогноза параметров движения ПДО, состояния ТСУ и параметров внешней обстановки;
- формирование локальных целей, текущих ограничений, заданий по управлению подсистемами КСУ;
- выбор стратегии и режимов управления, обеспечивающих необходимую корректировку задания для подсистемы управления движением (СУД) на изменение траекторий движения АНПА с учетом всех типов

угроз, минимально необходимых энергозатрат и обеспечения безопасности управления ПДО;

- поддержка реализации оперативного управления СУД по отработке текущих угроз (удержание движения ПДО на заданной эквидистанте от резко переменного микрорельефа, обход различных препятствий, уклонение от других ПДО и т.п.);

- определение возможных вариантов возврата на выполнение прерванного задания текущего этапа программы рабочей миссии АНПА в случае значительных отклонений от программы очередного этапа при отработке различных траекторных угроз.

Рассмотрим кратко основные требования к решению этих задач.

2. Основные требования к функциям ВИК и структура ИСПУ

Для реализации штатных алгоритмов контроля и управления на распределенных микропроцессорных средствах и сетевых структурах КСУ ПДО обычно используют различные SCADA-системы. Сконфигурированное типовое алгоритмическое (АО) и программное (ПО) привязывается к имеющимся ТСУ, загружается на нижний уровень КСУ (в СУД) для выполнения.

Определение изменений текущих заданий для СУД осуществляется на верхнем уровне КСУ чаще всего при возникновении следующих основных ситуаций:

- плановые изменения в соответствии с пунктами исходной программы выполнения текущего этапа миссии;

- необходимость оперативной коррекции траектории движения при выявлении траекторных угроз на основе автоматического анализа текущей или прогнозируемой ситуации с помощью ВИК;

- возникновение нештатной ситуации на объекте управления, в работе ТСУ или функциональных приборов, обеспечивающих выполнение специальных функций миссии.

Для создания интеллектуальных средств поддержки управления ПДО на верхнем уровне КСУ, обычно используются различные языки, пакеты прикладных программ и инструментальные средства разработки динамических экспертных систем реального времени (ДЭС-РВ), позволяющие реализовать все необходимые блоки ДЭС_РВ в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Детальные требования к созданию ВИК, работе ИСПУ, решаемым задачам, а также функциональная схема ИСПУ рассмотрены в [3]. На рис.1 представлена общая структура ИСПУ, включающая следующие локальные ВИК, взаимодействующие с основными подсистемами ИСПУ и КСУ:

- контроль работы ТСУ и анализ доступных ресурсов ТСУ;

- оценка координат и параметров движения ПДО и анализ данных о внешней обстановке с использованием обработки данных от интегрированной навигационной системы (ИНС), гидроакустического комплекса (ГАК), эхолокационной системы (ЭЛС), технического зрения (ТЗ) и других средств;

- анализ статических и динамических траекторных угроз (АТУ), генерация целей и подцелей (ГЦ) и выбор сценария (ВС) для корректировки текущего управления в зависимости от типа угроз;

- определение альтернативных вариантов управления для системы управления движением (СУД) и системы управления специальными средствами и манипуляторами (СУМ).



Рис.1 Общая структура ИСПУ

Монитор ИСПУ обеспечивает координацию работы ИСПУ, отдельных ВИК, а также взаимодействие ВИК с сервером приложений и подсистемами штатной КСУ ПДО. Ниже приведен упрощенный пример из [3], иллюстрирующий работу фрагмента МПЗ по логическому выбору сценария в зависимости от оценки внешней обстановки и использования матричного представления продукционных правил и матричного вывода.

3. Пример выбора сценариев при обнаружении траекторных угроз

Логический выбор варианта сценария при обнаружении статической угрозы (цель) с использованием продукционных правил в матричном представлении.

1. Определим спецификатор переменных для объединенного вектора событий (факты), ситуаций (подцели), сценарии (цели):

- факты (события): X1-Наличие статических траекторных угроз, X2-Расчет альтернативных вариантов обхода, X3-Наличие динамических траекторных угроз, X4 –Расчет альтернативных вариантов расхождения, X5 – Есть запас по энергетике;

- подцели (ситуации/операции): X6 – Выбор варианта маневра обхода угрозы, X7 – Выбор варианта маневра уклонения, X8 – Расчет управления для выполнения маневра обхода угрозы, X9 - Расчет управления для выполнения маневра уклонения;

- цели (сценарии): X10- Сценарий выполнения маневра обхода статических угроз, X11- Сценарий выполнения маневра уклонения при динамических угрозах.

2. Зададим правила определения подцелей и целей: $X6=X1\&X2$, $X7=X3\&X4$, $X8=X5\&X6$, $X9=X5\&X7$, $X10=X6\&X8$, $X11=X7\&X9$.

3. Зададим начальный объединенный вектор событий, целей и подцелей X(0): Исходные факты: $X1(0)=1$, $X2(0)=1$, $X3(0)=0$, $X4(0)=0$, $X5(0)=1$, Начальные значения целей и подцелей: $X6(0)=X7(0)=X8(0)=X9(0)=0$, $X10(0)=X11(0)=0$.

4. Зададим правила определения подцелей и целей в матричном виде (табл.1). Так как правила в п.2 определены в виде простых конъюнктов, то используем только одну матрицу описаний.

Проверим гипотезу достижения цели X10 ($X10=1$?) при заданных фактах и правилах.

5. Выполним последовательное логическое умножение вектора X на матрицу условий.

Таблица 1

Фрагмент матричного задания правил выбора сценария

Номера \Столбцов Строк \	Факты (исходные события)					Подцели (ситуации/операции)				Цели (сценарии)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	1	1				1					
7			1	1			1				
8					1	1		1			
9					1		1		1		
10						1		1		1	
11							1		1		1

Таблица 2

Последовательность векторов X(i) на базе прямого матричного вывода

Но- мера \Стол- бцов Стро- к \	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ите- ра- ции	Изме- нения X(ti)
6	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Нет
7	1	1	0	0	1	1						1	Есть
8	1	1	0	0	1	1		1				2	Есть
9	1	1	0	0	1	1		1		1		3	Есть

10	1	1	0	0	1	1		1		1		4	нет
11													

Достигается цель X10 (X10=1), Цель X11 не достигается (X11=0)

4. Выводы

Использование уровневой структуризации общей модели представления знаний с использованием специализированных встраиваемых интеллектуальных компонентов, применение матричных представлений МПЗ на локальных уровнях и методов матричного вывода по множеству всех антецедентов позволяет значительно повысить эффективность решения задач интеллектуальной поддержки работы традиционных алгоритмов контроля и управления сложными объектами. Значительно расширяются возможности автоматического анализа текущих ситуаций, своевременного распознавания различных траекторных угроз, настройки подсистем штатной КСУ на более эффективное выполнение функций, обнаружения предпосылок возникновения возможных аварийных и нештатных ситуаций, рационального использования технических средств управления и повышение безопасности управления сложными динамическими объектами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В. О некоторых задачах динамики и управления пространственным движением АНПА. // Подводные исследования и робототехника. 2006 №2, стр. 13-26.
- [2] Борисов. В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Повышение безопасности управления морскими подводными объектами на этапе их проектирования. // Труды 17 Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». 4 стр. ИПУ РАН. Москва. 2009.
- [3] Чинакал В.О. Проектирование систем управления подвижными объектами с использованием встраиваемых интеллектуальных компонентов. Труды 14-й международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2014)». – М. ООО «Аналитик». 2012 стр. 141-145.
- [4] Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальные систем: Учебное пособие. – М.: «Финансы и статистика», 2010. – 432 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В.В. Беляев^{1,2}, д.т.н.

И.В. Попов³

К.Д. Нессемон,¹

А.А. Горбунов¹

1 - Российский университет дружбы народов

2 - Московский государственный областной университет

3 - Центральный научно-исследовательский институт «Комета»

В последние годы светодиодные светильники получают широкое распространение благодаря своим техническим и экономическим характеристикам: высокой световой эффективности, долговечности, малому размеру, низкой стоимости производства и эксплуатации. Актуальной задачей является оптимизация управления разработкой и эксплуатацией такого устройства.

Основными эксплуатационными параметрами светодиодного светильника являются световой поток и его стабильность, срок службы. Важными параметрами устройства также являются габариты, масса, энерго- и токопотребление, цена используемых материалов и компонентов. При эксплуатации, особенно в условиях промышленного предприятия, нужно также учитывать размеры помещения, размещение освещаемых объектов, температуру и воздушные потоки внутри помещения и их распределение и другие параметры.

Поэтому подход к задаче управления параметрами светильника должен быть комплексным.

Рассмотрим примеры решения некоторых составляющих этой задачи.

Увеличение рабочей температуры кристалла крайне негативно сказывается на параметрах эксплуатации светодиодного светильника, поэтому нужно управлять тепловыми режимами и поддерживать более низкую температуру р-п перехода светодиода. Прямое напряжение светодиода непосредственно зависит от температуры р-п перехода: при увеличении температуры р-п перехода прямое напряжение уменьшается. При снижении прямого напряжения рассеиваемая мощность также уменьшается, что в сочетании со сниженной эффективностью, вызванной повышением температуры, приводит к потере в световом потоке. Однако снижение светового потока может быть скомпенсировано путем выбора величины тока, управляющего источником света, при стабилизированной температуре р-п перехода.

Отвод излишка выделяющегося в светодиодах тепла с помощью радиаторов в окружающую среду посредством теплопроводности можно регулировать на стадии проектирования светодиодного светильника рас-

считав тепловое сопротивление радиатора, которое зависит от физических свойств материала, через который проходит тепловой поток, и его геометрических размеров.

$$P \Delta T / R_T \quad (1)$$

где P - рассеиваемая мощность в основании радиатора, ΔT - перепад температур между основанием радиатора и окружающей средой, R_T - тепловое сопротивление материала, участвующего в передаче тепла от нагретого тела (радиатора).

$$R_T = \delta / \lambda S \quad (2)$$

где δ - толщина материала, через который проходит тепловой поток, λ - коэффициент теплопроводности, S - поперечное сечение радиатора.

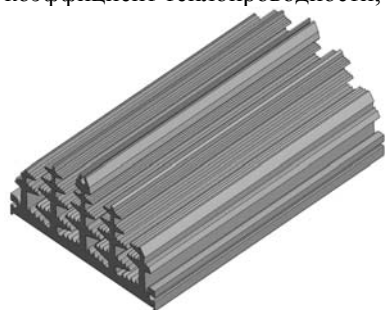


Рис.1.

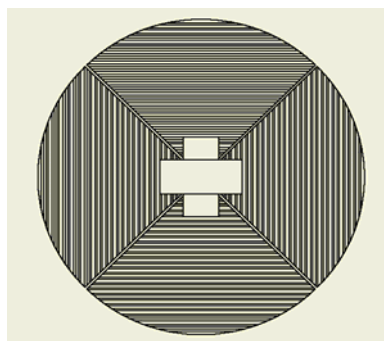
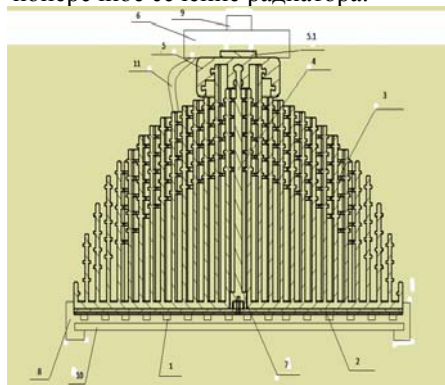


Рис.2. Управляемый концентратор света [4]. Слева вид сбоку, справа - вид сверху.

Таким образом, при правильном обеспечении энергопитания и правильном выборе материала и геометрии радиатора охлаждения можно добиться эффективной работы светодиодного светильника при заданных параметрах эксплуатации.

Примеры конструкции радиатора с большей поверхностью тепловыделения приведены на рис. 1 [1,2]. На рис.2 [3,4] приведены примеры конструкции светильника с изменяемой геометрией светоизлучающих площадей для управления освещенностью рабочего места в промышленном помещении.

Работа выполнена частично по гранту Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 14-07-00277_а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Теплоотводящее устройство, Заявка на Патент РФ на полезную модель №20111134472 от 18.08.2011.
- [2] Теплоотводящее устройство, Заявки на промышленный образец №№2012502245-2012501751 от 06.07.2012.
- [3] Модульный светодиодный светильник, Патент РФ на полезную модель №107572, заявка от 20.08.2011.
- [4] Управляемый концентратор света, Патент РФ на полезную модель №116600, заявка от 20.05.2012

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕАКТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.И. Забудский, д.т.н.

Кафедра Кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

На основе теории поля Дж. К. Максвелла и метода конечных элементов разработана обобщенная математическая модель ферромагнитных устройств электроэнергетического назначения, а также алгоритм и её программная реализация. В соответствии с программой исследована “анатомия” электромагнитных реакторов. Установлена взаимосвязь между их схмотехническими особенностями и дифференциальными характеристиками; приняты проектные решения по оптимизации устройств.

Ключевые слова: управляемый реактор, магнитное поле, метод конечных элементов.

По конструктивным и схмотехническим решениям управляемые электромагнитные реакторы подобны силовым трансформаторам или

электрическим машинам переменного тока с неявновыраженными полюсами, но с неподвижным “ротатором” (далее кавычки опущены).

Реактор — это статическое силовое нелинейное устройство, работа которого основана на явлении электромагнитной индукции. Активная часть реактора содержит одну или несколько обмоток и магнитопровод.

Реактивная мощность, потребляемая реактором, плавно регулируется за счет изменения насыщения его магнитопровода. Являясь средством автоматического регулирования этой мощности, реакторы предназначены для управления режимами электроэнергетических систем с целью решения следующих задач: компенсация избыточной зарядной мощности линий электропередачи и повышение их пропускной способности, ограничение коммутационных перенапряжений, ограничение токов короткого замыкания, уменьшение колебаний напряжения, рациональное распределение напряжения и тока и др.

Уравнения Максвелла и метод их решения

Электромагнитные явления в реакторах описываются четырьмя уравнениями Максвелла в частных производных. Их векторная форма с учетом допущений, обусловленных спецификой реакторов, имеет вид:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \text{ или } = 0, \quad (4)$$

где \mathbf{H} и \mathbf{B} — векторы напряженности и индукции магнитного поля, А/м и Тл; \mathbf{E} и \mathbf{D} — векторы электрического поля, В/м и Кл/м²; ρ — объемная плотность электрического заряда, Кл/м³; символы “ \times ” и “ \cdot ” — знаки операций векторного и скалярного произведения; ∇ — вектор-оператор, представляемый в декартовой системе в виде: $\nabla = \mathbf{i} \partial / \partial x + \mathbf{j} \partial / \partial y + \mathbf{k} \partial / \partial z$; \mathbf{i} , \mathbf{j} , \mathbf{k} — орты.

Для изотропной и нелинейной среды уравнения (1) — (4) дополняют выражениями $\mathbf{D} = \epsilon_a(\mathbf{E})\mathbf{E}$, $\mathbf{B} = \mu_a(\mathbf{H})\mathbf{H}$, $\mathbf{J} = \gamma(T)\mathbf{E}$. Они характеризуют её макроскопические свойства посредством диэлектрической $\epsilon_a(\mathbf{E})$ и магнитной проницаемости $\mu_a(\mathbf{H})$ и удельной электропроводимости $\gamma(T)$, где T — температура среды.

Условие непрерывности поля (3) позволяет ввести функцию \mathbf{A} , называемую векторным магнитным потенциалом и определяемую выражением $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$. Она зависит от пространственных координат и является многозначной. На вектор \mathbf{A} накладывают калибровку Кулона, $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$.

Калибровка позволяет упростить конечное уравнение, которое является результатом аналитического преобразования векторной модели (1) — (4) и используется для расчета магнитного поля. Оно имеет вид:

$$\nabla \times ((1/\mu_a) \nabla \times \mathbf{A}) = \nabla \times (\nu_a \nabla \times \mathbf{A}) = \mathbf{J} - \gamma \partial \mathbf{A} / \partial t, \quad (5)$$

где $\gamma \partial \mathbf{A} / \partial t$ — вектор плотности вихревого тока.

В декартовой системе координат уравнение (5) представляется как

$$\partial(v_a \partial A / \partial x) \partial x + \partial(v_a \partial A / \partial y) \partial y + \partial(v_a \partial A / \partial z) \partial z = -\mathbf{J}(x, y, z, t) + \gamma \partial A / \partial t. \quad (6)$$

Для однозначности решения, наряду с граничными условиями, задают условие Коши. Из решения (6) определяют распределение потенциала $A(x, y, z, t)$ на каждом временном слое в пространственной области расчета и векторы поля. Если вихревой ток не учитывается, то решение \square это совокупность распределений потенциала на различных слоях, определенных для значений тока, соответствующих шагу временной координаты.

Для решения (6) использован метод конечных элементов. Согласно методу потенциал $A(x, y, z, t)$ аппроксимируют в пространстве дискретной моделью: 1) в рассматриваемой области фиксируют конечное число точек, называемых узловыми; 2) значение потенциала в каждой точке считают переменной, подлежащей определению; 3) область существования потенциала разбивают на конечное число подобластей, называемых конечными элементами (КЭ). Элементы имеют общие узловые точки и их совокупность, составляющая ансамбль, аппроксимирует форму области; 4) в каждом элементе потенциал аппроксимируют полиномом, определяемым с помощью значений функции в узловых точках. Полиномы подбирают так, чтобы сохранялась непрерывность потенциала вдоль границ элементов.

В соответствии с методом формируется система нелинейных алгебраических уравнений (НАУ), которая решается методом Ньютона относительно значений потенциала. По результатам решения выполнено: 1) рассчитаны величины магнитных индукции B_x, B_y, B , напряженности H и относительной магнитной проницаемости μ_a/μ_0 , в каждом КЭ на всех интервалах времени Δt ; 2) построены линии равного потенциала $A(x, y) = \text{const}$, которые являются силовыми линиями поля; 3) осуществлен поиск зон с максимальной индукцией; 4) построены зависимости $A = f(t)$, $B = f(t)$, $H = f(t)$ и $\mu_a/\mu_0 = f(t)$ для заданных КЭ и выполнен гармонический анализ кривых; 5) построены двумерные поверхности $A = f(x, y)$, $B = f(x, y)$, $H = f(x, y)$ и $\mu_a/\mu_0 = f(x, y)$; 6) установлены рациональные размеры магнитопровода; 7) приняты проектные решения, оптимизирующие активную часть реакторов.

Результаты моделирования магнитного поля в насыщающемся реакторе и его оптимизация

Реактор предназначен для работы в схеме параметрического стабилизатора напряжения с целью ограничения колебаний напряжения. Он также может быть использован для компенсации реактивной мощности энергосистемы в схеме статического компенсатора реактивной мощности.

Стабилизатор напряжения состоит из трех основных элементов: регулирующее устройство — его функции выполняет трехфазный насыщающийся реактор (НР); две нерегулируемые батареи конденсаторов — шунтовая и серийная. НР обладает практически безынерционным

принцип действия, что и делает эффективным его использование для стабилизации напряжения в сети с резкопеременной нагрузкой.

Разработан трехфазный НР, его активная часть состоит из магнитопровода и совмещенной обмотки. Активная часть содержит 3 одинаковых модуля. Модуль имеет 3-стержневой сердечник и 5 катушек разных фаз обмотки. Соотношение чисел витков катушек фаз, схема их соединения и расположение на стержнях обеспечивают исключение из тока гармоник с $\# \# 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15; 21, 23, 25, 27, 29, 31$. Поэтому НР является часто используемым типом реакторов. Рассматривается один модуль, в силу симметрии область расчета включает 1/2-ю часть его, рис. 1. Расчетная модель НР (область $ABCD$) состоит из 3-стержневого магнитопровода, 3-х катушек фазы $A-X$, одной катушки фазы $B-Y$ и одной катушки фазы $C-Z$.

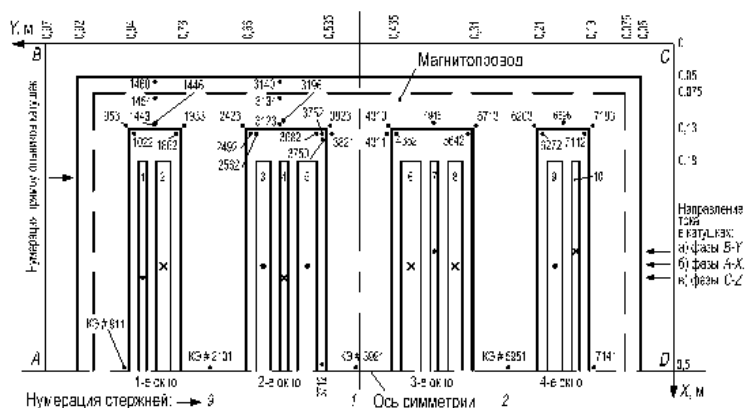


Рис. 1. Область расчета магнитного поля насыщающегося реактора (символами “#### •” — обозначены номера и положение КЭ)

Область $ABCD$ распределения поля аппроксимирована ансамблем из 8120 двумерных КЭ 1-го порядка и включает 4212 узлов. На границах области AB , BC и CD задано условие Дирихле, $A = 0$; на границе DA , совпадающей с осью симметрии, – однородное условие Неймана, $\partial A / \partial n = 0$.

Система НАУ состоит из 4025 уравнений. Искомым является распределение потенциала $A(x, y, t)$ в узлах ансамбля. Система решалась методом Ньютона. Система линейных алгебраических уравнений (ЛАУ), формируемая на каждой итерации, \square методом Гаусса; ширина диагональной полосы якобиана системы ЛАУ, в пределах которой находятся ненулевые элементы, равна 38. Общее число элементов в строке якобиана $\square 4025$. Учет соотношения (38 и 4025) обусловил сокращение времени решения.

Для уменьшения ширины диагональной полосы с ненулевыми элементами, необходимо производить нумерацию узлов так, чтобы разность

номеров узлов, примыкающих к данному узлу, была наименьшей.

По распределению потенциала $A(x,y,t)$ определены картины поля в области расчета, значения индукции, напряженности, относительной магнитной проницаемости в КЭ для фиксированного момента времени. Найдено изменение этих величин во времени для заданных КЭ. Выполнен гармонический анализ временных зависимостей. Разработан компьютерный слайд-фильм. На основе анализа результатов расчета произведена оптимизация активной части НР.

На рис. 2 показано пространственное распределение индукции. Поверхность (а) соответствует КЭ ## 1022, 1862, ..., 7112 (см. рис. 1), заполненным воздухом; размер катетов элементов $\approx 1,4$ см. Поверхность (б) соответствует этим КЭ, заполненным магнитным материалом. На поверхности (б) пиковые значения индукции снижены до приемлемых величин.

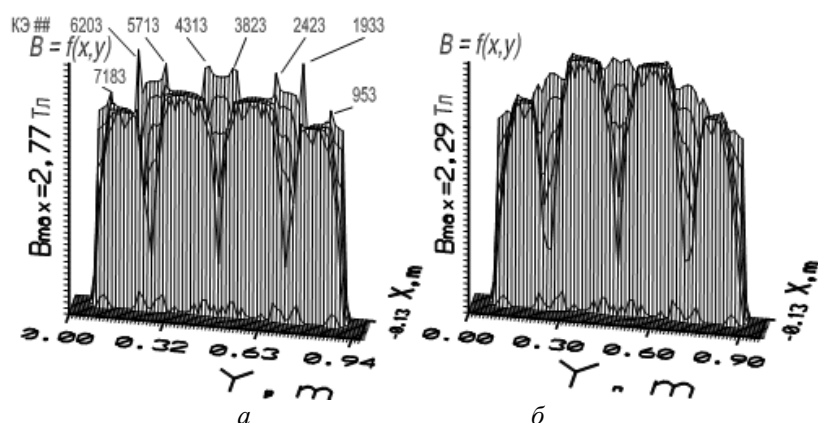


Рис. 2. Пространственное распределение магнитной индукции

На рис. 3 показана картина поля в области $ABCD$ при заполненных углах окон магнитным материалом (КЭ ## 1022, 1862, ..., 7112).

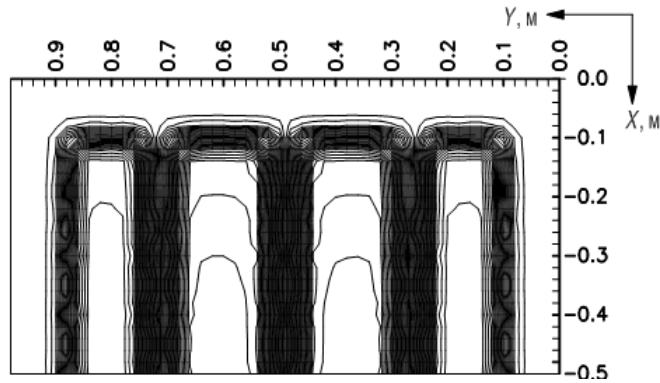


Рис. 3. Картина распределения магнитного поля

В связи с магнитным насыщением стержней в индукции содержится спектр гармоник. Для оценки значений их амплитуд выполнен расчет поля в интервале $0 — 0,03$ с, шаг $\Delta t = 0,02$ с/120. На рис. 4,а показано изменение индукции в стержнях. Смещение кривых 9-го и 2-го стержней, относительно кривой 1-го (см. рис. 1), согласуется со звездой векторов МДС.

Выполнен гармонический анализ кривых $B = f(\omega t)$ этих стержней. На рис. 4,б представлены значения амплитуд гармоник индукции, соответствующие КЭ # 3991 среднего стержня. Значения амплитуд 3, 5 и 7-й гармоник используются при расчете потерь в стали.

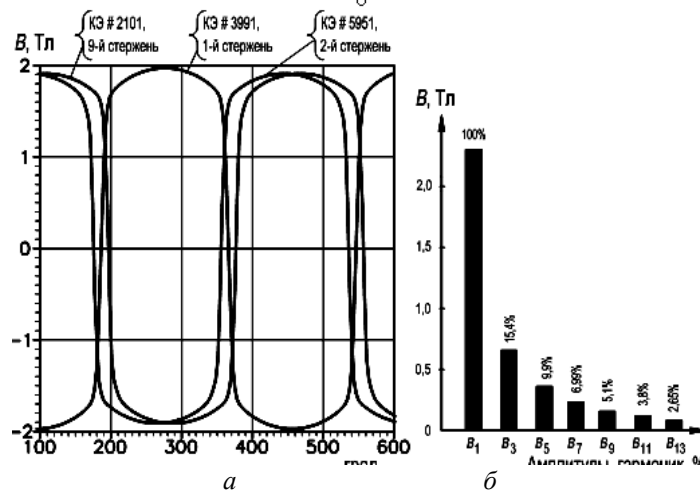


Рис. 4. Изменение магнитной индукции в стержнях 1-го модуля НР (а);

результаты гармонического анализа индукции в КЭ # 3991 (б)

Получены результаты: 1) установлено рациональное соотношение сечений ярма и стержня (0,52—0,55), что определяет снижение материалоемкости; 2) предложено заполнять углы окон магнитопровода реакторов трансформаторного типа магнитным материалом. Цель - снижение потерь мощности; 3) определены амплитуды гармоник индукции; 4) найдены значения индукции в зонах рассеяния и вытеснения потока и в магнитопроводе, используемые (как и значения амплитуд) при проектировании.

Выводы

1. Разработана на основе теории поля Дж. К. Максвелла и метода конечных элементов обобщенная математическая модель для оптимизации «анатомии» различных управляемых электроэнергетических устройств.

2. Общность модели определена возможностью оптимизации устройств при выполнении на их внешних границах условий Неймана и Дирихле.

3. Адекватность модели соответствует допущениям. Она учитывает нелинейность среды и реальную геометрию реакторов. Результаты согласуются с данными эксперимента и с полученными на основе теории цепей.

Секция – 3
Моделирование, идентификация и оптимизация
в интеллектуальных системах

МЕТОД СЕТЕВОГО ОПЕРАТОРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
СИНТЕЗА ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ

Т.Ф. Данг¹, аспирант

А.И. Дивеев², д.т.н.

Е.А. Софронова¹, к.т.н.

1 – Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

2 – ВЦ РАН им. А.А. Дородницына
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

Рассматривается задача идентификационного управления роботом манипулятором. Для реализации такого управления первоначально решается задача идентификации, а затем для полученной модели объекта решается задача синтеза управления. Для решения задачи идентификации и синтеза используем метод сетевого оператора, который с помощью эволюционных алгоритмов поиска находит оптимальное решение.

Ключевые слова: идентификация системы управления, синтез системы управления, метод сетевого оператора, генетический алгоритм.

Задача идентификационного управления [1] возникает в тех случаях, когда модель объекта управления неизвестна или очень сложна и математический вывод модели требует существенных затрат. В настоящей работе мы решаем задачу идентификационного управления численным методом сетевого оператора [2-3]. В качестве вычислительного эксперимента было рассмотрено решение задачи синтеза идентификационного управления роботом манипулятором [4]. Для получения исходных данных управление роботом осуществлялось с помощью тестовых функций времени $u_1 = 0.35\sin(t)$, $u_2 = 0.3(3-t)$, $u_3 = 0.15\sin(t) + 0.3\cos(t)$. Экспериментальные данные приведены в табл.1.

Табл.1.

Экспериментальные данные

	t	x_1 (рад)	x_2 (рад)	x_3 (рад)	u_1	u_2	u_3
1	0	0	0	0	-0.55	-0.0054	0.4
2	0.1	0	0	-0.032	-0.053	0.3674	0.001
3	0.2	0	-0.02	-0.1025	-0.0487	0.2768	-0.005
4	0.3	0	-0.049	-0.2505	-0.04175	0.2897	-0.001
5	0.4	-0.007	-0.084	-0.4111	-0.0303	-0.3294	-0.003
6	0.5	-0.01	-0.1463	-0.6418	-0.01882	-0.3209	-0.0045
7	0.6	-0.02	-0.2212	-0.8503	-0.0013	-0.3098	-0.6859
8	0.7	-0.04827	-0.35	-1.042	-0.473	-0.2998	-0.093
9	0.8	-0.07	-0.4684	-1.223	-0.455	-0.2912	-0.117
0	0.9	-0.1162	-0.6405	-1.319	-0.4288	-0.2818	0.6481
1	1	-0.1654	-0.7917	-1.323	-0.4064	-0.2715	0.6112
2	1.1	-0.2462	-0.9772	-1.247	-0.3819	-0.2632	0.5796
3	1.2	-0.3132	-1.093	-1.085	-0.3547	-0.2548	0.5433
4	1.3	-0.4399	-1.216	-0.8576	-0.3272	-0.2472	0.5066
5	1.4	-0.5139	-1.32	-0.5798	-0.2933	-0.2398	0.4614
6	1.5	-0.6424	-1.407	-0.2505	-0.2656	-0.233	0.4244
7	1.6	-0.7539	-1.452	0.007	-0.2337	0.3979	0.382
8	1.7	-0.8863	-1.463	0.2505	-0.2082	0.4029	0.348
9	1.8	-1.01	-1.431	0.3952	-0.1779	0.4077	0.3075
20	1.9	-1.177	-1.353	0.4444	-0.1507	0.4098	-0.5227
21	2	-1.288	-1.23	0.373	-0.1202	0.4119	-0.5635

В результате решения задачи идентификации было получено следующее решение:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= u_1^3 + u_1^3 + u_3^3 + q_1 u_2^2 + u_1 q_4 \cos(u_3), \\ \dot{x}_2 &= x_1 - x_1^3 + -q_3 + q_1^3 + \cos(x_2) + q_2 + x_1 - x_1^3 + x_2 - x_2^3 + u_2 + q_5, \\ \dot{x}_3 &= x_2 - x_2^3 + u_1^2 + u_1 q_4 \cos(u_3) - (u_1 q_4 \cos(u_3))^3 + u_1^3 + u_3^3 + q_1 u_2^2 + u_1 q_4 \cos(u_3) - \end{aligned}$$

$$-\left(u_1^3 + u_3^3 + q_1 u_2^2 + u_1 q_4 \cos(u_3)\right)^3 + \sin\left(\cos(x_1)\cos(x_2)\cos(x_3)q_3 u_2 + u_2^3 + u_3 + q_6 + \cos\left(x_1 - x_1^3 + x_2 - x_2^3 + u_2 + q_5\right)\right),$$

где $q_1 = 0.234375$, $q_2 = 0.984375$, $q_3 = 3.875000$, $q_4 = 3.984375$,
 $q_5 = 0.484375$, $q_6 = 0.000000$.

Результаты моделирования полученной модели системы управления представлены на рис. 1 - 3.

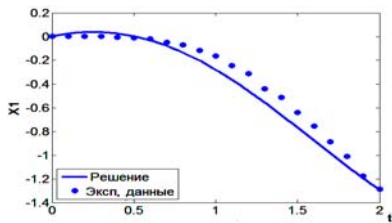


Рис.1. Функция $x_1(t)$.

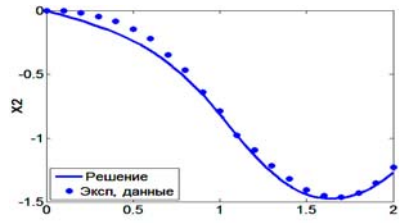


Рис.2 Функция $x_2(t)$.

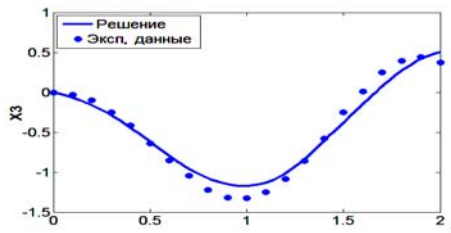


Рис.3. Функция $x_3(t)$.

На втором этапе осуществляем синтез системы управления роботом манипулятора. Рассмотрим решение задачи синтеза системы управления для разных начальных значений

$\mathbf{x}^{0,1} = [-0,1 \ -0,2 \ -0,1]^T$, $\mathbf{x}^{0,2} = [0,1 \ 0,2 \ 0,1]^T$, $\mathbf{x}^{0,3} = [0 \ 0 \ 0]^T$. В результате было получено следующее решение:

$$\begin{aligned}
\tilde{u}_1 = & \left(q_1' \sin(\Delta x_1) - (q_1' \sin(\Delta x_1))^3 \right)^3 + (q_2' + \sin(\Delta x_2))^3 + q_1' \sin(\Delta x_1) - (q_1' \sin(\Delta x_1))^3 - \\
& - \left((q_1' \sin(\Delta x_1))^2 + q_2' + \sin(\Delta x_2) + \left((q_2' + \sin(\Delta x_2))^3 + q_1' \sin(\Delta x_1) - (q_1' \sin(\Delta x_1))^3 \right)^2 \right) - \\
& - \left[- \left((q_2' + \sin(\Delta x_2))^3 + q_1' \sin(\Delta x_1) - (q_1' \sin(\Delta x_1))^3 \right)^2 - \Delta x_2 + \right. \\
& \left. + \left((q_1' \sin(\Delta x_1))^2 + q_2' + \sin(\Delta x_2) \right)^3 - \Delta x_2 (q_2' + \sin(\Delta x_2)) + \Delta x_2, \right. \\
& \left. \tilde{u}_2 = q_1' + \cos \left(-\Delta x_2 (q_2' + \sin(\Delta x_2)) \right) \right) \\
\tilde{u}_3 = & \left((q_1' \sin(\Delta x_1))^2 + q_3' \sin(\Delta x_3) - (q_3' \sin(\Delta x_3))^3 + -\Delta x_2 + (q_1' \sin(\Delta x_1))^2 \right)^2 + \\
& + \left((q_2' + \sin(\Delta x_2))^3 + q_1' \sin(\Delta x_1) - (q_1' \sin(\Delta x_1))^3 \right)^2 - \Delta x_2 (q_2' + \sin(\Delta x_2)) - \\
& - \left[- \left((q_2' + \sin(\Delta x_2))^3 + q_1' \sin(\Delta x_1) - (q_1' \sin(\Delta x_1))^3 \right)^2 - \Delta x_2 + \right. \\
& \left. + \left((q_1' \sin(\Delta x_1))^2 + q_2' + \sin(\Delta x_2) \right)^3 + q_2' + \sin(\Delta x_2) + \tilde{u}_1^3 \right)
\end{aligned}$$

где $\Delta x_1 = \tilde{x}_1^k - x_1(t)$, $\Delta x_2 = \tilde{x}_2^k - x_2(t)$, $\Delta x_3 = \tilde{x}_3^k - x_3(t)$,
 $q_1' = 0.484375$ $q_2' = 0.000000$ $q_3' = 1.984375$

Графики изменения управления представлены на рис. 4 - 6.

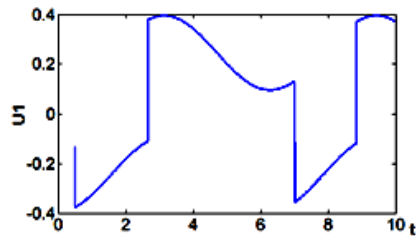


Рис.4. Функция $u_1(t)$.

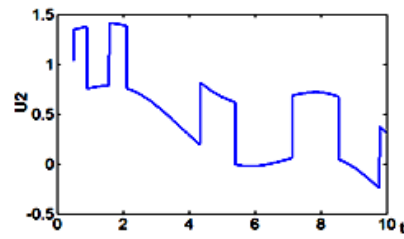


Рис.5. Функция $u_2(t)$.

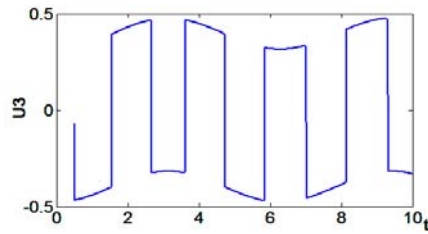


Рис.6. Функция $u_3(t)$.

На рис.7. приведены результаты моделирования полученной системы управления с разными начальными значениями. Красный цвет соответствует результатам моделирования с начальными значениями $x^{0,1} = [-0,1 \ -0,2 \ -0,1]^T$, зеленый цвет - $x^{0,2} = [0,1 \ 0,2 \ 0,1]^T$, синий цвет - $x^{0,3} = [0 \ 0 \ 0]^T$, начальный момент времени 0.5 с.

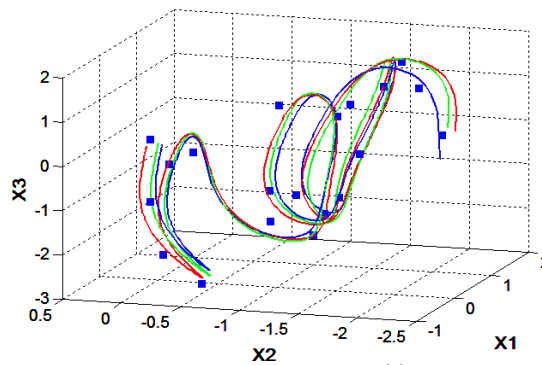


Рис.7. Функции $x_3(t)$

Для сравнения управления, синтезированного для реальной математической модели, Необходимо найти управление, чтобы фактическое дви-

жение совпадало с заданным траекториям. В качестве цели управления задаем траекторию, которую необходимо пройти от точки к точке. В результате было получено следующее решение:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= q_1' \sin(\Delta x_1) \cos(\Delta x_3) + \sin(q_3') + \text{sign}(q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3)) \sqrt{|q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3)|} \\ \tilde{u}_2 &= \Delta x_1^2 + q_3' + \left(\Delta x_2 + \sin(\Delta x_3) + q_3' \right)^2 + \left(q_1' \sin(\Delta x_1) \cos(\Delta x_3) + \sin(q_3') \right)^2 + \\ &+ \Delta x_1^2 + \Delta x_3^2 + \sin(q_3') + 2 \left(q_1' \sin(\Delta x_1) \cos(\Delta x_3) \right)^2 + q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3) + \\ &+ \left(\Delta x_2 + \sin(\Delta x_3) + q_3' \right)^2 \\ \tilde{u}_3 &= \Delta x_1^2 + \text{sign}(q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3)) \sqrt{|q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3)|} + \sin(q_3') - \\ &- q_1' \sin(\Delta x_1) \cos(\Delta x_3) - \text{sign}(q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3)) \sqrt{|q_2' \sin(\Delta x_2) \cos(\Delta x_3)|}. \end{aligned}$$

где $\Delta x_1 = \tilde{x}_1^k - x_1(t)$, $\Delta x_2 = \tilde{x}_2^k - x_2(t)$, $\Delta x_3 = \tilde{x}_3^k - x_3(t)$,
 $q_1' = 1.234375$ $q_2' = 3.984375$ $q_3' = 0.234375$.

Сравним управление, синтезированное для реальной математической модели с управлением, синтезированным для идентифицированной модели, мы получаем следующий результат на рис.8 – 10.

Красный цвет соответствует результатам моделирования с идентифицированной моделью, синий цвет – с реальной математической моделью.

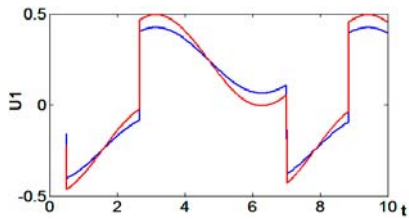


Рис.8 Функция $u_1(t)$.

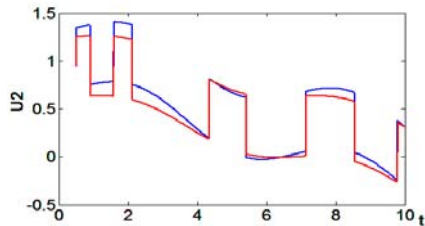


Рис.9 Функция $u_2(t)$.

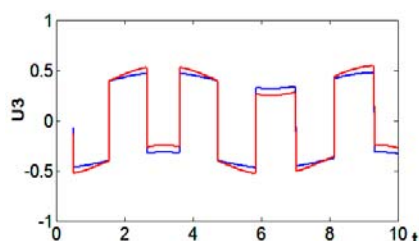


Рис.10. Функция $u_3(t)$.

В результате применения метода сетевого оператора была решена задача синтеза идентификационного управления. Результаты вычислительных экспериментов с эталонной моделью робота показали удовлетворительное качество решения задач идентификации и синтеза системы управления. Проведено моделирование для различных начальных значений.

Работа выполнена по гранту РФФИ №13-08-00523-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунов Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами — М.: Физико-математическая литература, 2000. — 352 с.
- [2] Данг Т.Ф., Дивеев А.И., Казарян Д.Э., Софронова Е.А. Синтез идентификационного управления мобильным роботом методом сетевого оператора // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12860> (дата обращения: 10.09.2014).
- [3] Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями// Известия РАН ТиСУ. 2012, № 2. С. 63-78.
- [4] Edward J. Davision, Chairman, Benchmark problems for control system design // International Federation of Automatic Control – 1990 URL: http://rockinrobotchallenge.eu/Benchmarking_Robotics.pdf (дата обращения: 14.10.2014).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ НА ВЫЯВЛЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А.А. Барышников¹

А.И. Дивеев², *д.т.н.*

В.В. Дьяконов³, *д. г.-м.н.*

Е.А. Софронова¹, *к.т.н.*

¹ – Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

² – ВЦ РАН им. А.А. Дородницына
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

³ – Кафедра месторождений полезных ископаемых
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Современные математические методы символьной регрессии позволяют находить структуру и параметры математических моделей объектов, процессов и состояний по результатам экспериментальных исследований. Впервые делается попытка применения новой методики к обработке большого объема экспериментальных геологических данных для прогноза эффективности месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: экспертная оценка, оценка перспективности территории, методы символьной регрессии, эволюционные алгоритмы поиска, модель оценки полезных ископаемых.

Предполагается, что при применении новой методики к обработке большого объема экспериментальных геологических данных для прогноза эффективности месторождений полезных ископаемых будут получены инновационные результаты на основе междисциплинарных подходов информационных технологий, математики и геологии.

Основой геологических исследований является статистическая обработка данных:

- литогеохимического опробования коренных пород и кор выветривания;
- формализация геологического строения (структурные элементы – формы складчатости, ориентировка тектонических нарушений, возрастные датировки, фации горных пород и т.д.)

Существующая экспертная оценка, учитывающая спектр геологических особенностей формирования месторождений твердых полезных ископаемых, нефти, газа, воды, не формализована и не реализована в виде вычислительной методики, позволяющей объективно строить выводы по результатам анализа экспериментальных геологических данных.

Сложность проблемы заключается в том, что статистические методы, используемые в настоящее время в геологии, учитывают только один массив данных (геофизика, геохимия, структура). Сопоставление выявленных критериев несколькими методами исследований проводится экспертами в ручном режиме.

Нахождение универсального инструмента для оценки перспективности территории на базе данных разных геологических методов является целью исследования. Данная проблема все больше выходит на первый план в связи с удорожанием проведения геологических экспериментов из-за необходимости проведения большого количества бурильных работ. А обработка результатов, полученных на основе поверхностных измерений в современных условиях практически завершена.

Современные методы программирования и алгоритмизации, применяемые в области информационных технологий, позволяют решать сложные задачи по идентификации математических моделей на основе обработки экспериментальных данных. Наиболее важным в этом направлении результатом, полученным в последнее время, являются методы символьной регрессии, построенные на основе эволюционного поиска оптимальных структур на множестве их специализированных кодов. Последними результатами в области символьной регрессии являются: метод генетического программирования (1992 г.), метод грамматической эволюции (1998 г.), метод аналитического программирования (2001 г.), метод сетевого оператора (2006 г.), метод вариационного генетического программирования (2013 г.), метод вариационного аналитического программирования (2014 г.). Перечисленные методы символьной регрессии позволяют находить структуры и параметры математических выражений, описывающих функциональные зависимости между количественными оценками исходных данных и результатами анализа.

Новые методы символьной регрессии являются развитием метода генетического программирования, который был разработан в конце двадцатого века [1]. Основная цель разработки метода генетического программирования заключалась в решении задачи автоматического написания программ. В данной задаче необходимо было написать алгоритм, который создает другие алгоритмы для решения различных задач. Авторы метода применили популярный в то время эволюционный генетический алгоритм к поиску программного кода, описываемого универсальной структурой данных, так называемой, «польской записью». Новый метод был назван методом генетического программирования. Польская запись используется в трансляторах различных языков программирования высокого уровня в качестве промежуточного кода программы и представляет собой бесконечный набор символов, обозначающих операции и операнды программного кода.

Развитие метода генетического программирования привело к созданию метода грамматической эволюции [2], в котором программный код ищется в форме универсальной грамматики Бэкуса – Наура, а символы записи задаются в форме восьмибитовых кодов, называемых кодонами. Существенным отличием метода грамматической эволюции от метода генетического программирования является использование классической операции скрещивания, применяемой для кодонов.

Дальнейшее усовершенствование метода генетического программирования привело к разработке метода аналитического программирования [3], в котором код искомого решения задается в виде упорядоченного набора целых чисел, указывающих номера соответствующих операции из заданной таблицы. В методе аналитического программирования для поиска решения используется не только генетический алгоритм, а также другие эволюционные алгоритмы, методы дифференциальной эволюции и «роя частиц».

Использование метода генетического программирования в решении сложной задачи синтеза оптимального управления привело к созданию метода сетевого оператора [4], в котором код математического выражения ищется в форме целочисленной матрицы. В качестве алгоритма поиска в методе сетевого оператора используется генетический алгоритм, построенный на основе принципа малых вариаций базисного решения. Используемый принцип позволяет существенно сократить пространство поиска и повысить эффективность вычислительного алгоритма. Принцип малых вариаций базисного решения предполагает задание одного базисного решения и множества наборов закодированных малых вариаций этого решения. Генетические операции при поиске выполняются на наборах малых вариаций. В процессе поиска базисное решение заменяется на наилучшее найденное к данному моменту решение. Чем лучше задано базисное решение, тем быстрее алгоритм находит оптимальное решение. Метод сетевого оператора позволяет находить закодированное математическое выражение, построенное на множестве функций с одним или двумя аргументами.

Применение принципа малых вариаций к методам генетического и аналитического программирования привело к созданию методов вариационного генетического программирования [5] и вариационного аналитического программирования [6]. Новые методы позволяют находить математические выражения, включающие функции с любым количеством аргументов.

Данные методы успешно применяются для решения задач, в которых необходимо найти математические выражения оптимальные по заданным критериям. Подобные задачи возникают в области управления роботизированными техническими объектами для синтеза управления и иденти-

фикации математической модели объекта управления, в области экспертных систем для построения функции логического вывода, при аппроксимации статистических данных, в области логистики для построения оптимальных путей и траекторий, в проблеме автоматического написания программ и др.

Применяемые в новой области геологии методы символьной регрессии позволяют находить закодированные математические модели с помощью эволюционных алгоритмов поиска. До настоящего времени для оценки полезных ископаемых применялись сравнительные таблицы данных, полученных в результате геологических экспериментов. По оценке близости табличных данных, полученных на исследуемой площади, и данных, полученных на площадях с найденными месторождениями, делается вывод о перспективности нахождения месторождений на исследуемой площади. Сложность вывода или построения математических моделей оценки сравнения данных в геологии заключается в разнородности проводимых экспериментов, которые могут выполняться на основе геофизических, геохимических или структурных измерений. На сложность построения оценок также влияют большие объемы данных, особенности местности, и т.п. Для построения оценки больше количество данных увеличивает ее достоверность, но и увеличивает стоимость геологоразведочных работ.

Применяемые методы символьной регрессии состоят из двух частей, кода возможного решения и алгоритма поиска оптимального решения на пространстве кодов. В статье рассматривается задача идентификации математической модели, поэтому код возможного решения должен описывать математическое выражение. В методах символьной регрессии математическое выражение кодируют в форме композиций вложенных друг в друга элементарных функций. Входные данные математического выражения рассматривают как нульместные функции без аргументов.

Сложность поиска оптимального решения на пространстве кодов математических выражений заключается в огромном количестве возможных композиций функций, которые можно построить даже на ограниченном множестве элементарных функций, и в отсутствии метрики на пространстве кодов.

Задача поиска оптимального решения на пространстве кодов относится к классу NP полных задач и не может быть решена с помощью полиномиального алгоритма, поэтому в методах символьной регрессии для поиска решения используют популярные в последнее время эволюционные алгоритмы. Эволюционные алгоритмы включают следующие этапы: генерация множества возможных решений, исследование возможных решений по значению целевой функции, отбрасывание наихудших решений и построение новых решений с учетом наилучших в данном множе-

стве решений. В результате последовательной обработки во множестве возможных решений остаются решения с более близкими к оптимальному значениями целевой функции. Эволюционные алгоритмы не находят точного оптимального решения, но находят решения, близкие к оптимальному. Применение эволюционных алгоритмов к поиску кодов математических выражений позволяет находить формулы, описывающие математические модели, оптимальные согласно заданному критерию.

В качестве критерия поиска математической модели оценки геологических исследований, могут использоваться эталонные данные, полученные на площадях с найденными месторождениями. В результате применения новых методов символьной регрессии к проблеме оценки количества полезных ископаемых ожидается получение формальных соотношений в виде математических выражений, что обеспечит построение объективных количественных оценок перспективности территорий на выявление полезных ископаемых.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать и классифицировать исходные результаты геологических экспериментов для их применения в решении задачи идентификации математической модели оценки перспективности территории;
- формализовать задачу идентификации модели оценки полезных ископаемых на основе описаний исходных данных, ограничений, критериев оценки поиска оптимальных решений;
- разработать методику для решения задачи идентификации модели оценки полезных ископаемых;
- разработать алгоритмы идентификации с помощью применения эволюционных подходов и методов символьной регрессии;
- разработать комплекс программ по реализации алгоритмов поиска оптимального решения в задаче идентификации оценки;
- проведение вычислительных экспериментов на основе реальных результатов геологических исследований в области геохимии, геофизики, структурной геологии и т.д.;
- исследовать достоверность полученных результатов на основе сравнения результатов, полученных на основе идентифицированной модели с реальными данными.

В результате будет получен метод идентификации модели оценки перспективности территории и формальные соотношения данных оценок, построенные на основе вычислительных экспериментов.

Работа выполнена по гранту РФФИ №13-08-00523-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Koza J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press. 1992. 819 p.

- [2] Ryan C., Collins J.J., Neill M.O. Grammatical evolution: Evolving programs for an arbitrary language. // EuroGP. 1998: LNCS. – Vol. 1391. – P. 83–95.
- [3] Zelinka I. Analytic programming by Means of Soma Algorithm// Mendel'02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic, 2002, P. 93-101.
- [4] Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. М.: РУДН, 2012. 182 с.
- [5] Ибадулла С.И., Дивеев А.И., Софронова Е.А. Решение задачи синтеза системы управления методом вариационного генетического программирования// Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-11697>
- [6] Diveev, A.I., Kazaryan D.E., Sofronova E.A. Symbolic Regression Methods for Control System Synthesis // 22nd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) University of Palermo. – June 16–19. – 2014. Palermo, Italy. – P. 587–592.

МНОГОСЛОЙНЫЙ СЕТЕВОЙ ОПЕРАТОР В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ РОБОТОВ

А.И. Дивеев, д.т.н.

Е.Ю. Шмалько, к.т.н.

ФГБУН Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

Рассмотрена задача синтеза оптимального закона управления группой роботов. Представлена новая концепция многослойного сетевого оператора, позволяющая сколь угодно большой сетевой оператор представлять в виде связанного множества сетевых операторов малой размерности. Разработанная технология позволяет решать задачу синтеза системы управления группой роботов без ограничения на их количество.

Ключевые слова: метод сетевого оператора, многослойный сетевой оператор, синтез управления, группа роботов

Задача управления группой роботов состоит в том, чтобы группа автономных роботов, имея общее рабочее пространство, выполнила совместную цель, избегая при этом столкновений друг с другом [1]. Возможность создания полностью автономной системы управления, обеспечивающей скоординированное целенаправленное движение группы роботов в ограниченном пространстве в условия динамических ограничений представляет огромный практический и, конечно, научный интерес. Во

многих сферах жизнедеятельности человека, связанных с повышенным риском для здоровья и жизни, очевидной является перспективность применения таких автономных многообъектных робототехнических систем, среди которых космические исследования [2], спасение людей [3], добыча полезных ископаемых [4], грузоперевозки [5], промышленное и бытовое обслуживание [6], строительство [7], утилизация вредных отходов [8], безопасность и охрана [9], сельское хозяйство [10], контейнерная логистика в портах [11], а также управление складским хозяйством [12]. На сегодняшний день существует очень мало реальных внедрений таких многообъектных робототехнических систем, и это связано, прежде всего, со сложностью самой системы, а также с относительной новизной сопутствующих технологий. Тем не менее, по мере развития и совершенствования технологий в данной области стоит ожидать увеличения числа практических внедрений. В виду того, что фундаментальной основой создания и функционирования автономных многообъектных робототехнических систем является система управления, координирующая движение группы мобильных роботов и обеспечивающая его безопасность, то создание такой системы имеет первостепенное значение. Но проблема заключается в том, что общая задача построения оптимального управления группой роботов является NP-трудной задачей [13, 14].

Основная трудность создания автоматического управления сложной динамической робототехнической системой, в которой полностью исключается участие человека оператора, связана с тем, что современный аппарат теории управления решает задачу поиска оптимального управления как функции времени, и не учитывает изменений в состоянии объекта при его функционировании в реальных условиях. Таким образом, в случае отклонения от расчетных условий система либо не выполнит поставленной задачи, либо в тех ситуациях, когда это возможно, управление примет на себя человек-оператор и выведет систему на реализацию цели. Но во многих сферах такое вмешательство человека-оператора не всегда возможно. А с другой стороны, если такое управление, которое реализует человек-оператор по состоянию объекта, существует, то оно может быть описано некоторой функцией, то есть функцией, описывающей управление системой по ее состоянию. Построение такой системы управления как функции от состояния объекта называем задачей синтеза системы управления.

Для решения поставленной задачи в настоящей работе мы применяем такой численный метод символьной регрессии, как сетевой оператор. Метод сетевого оператора описан в работе [15]. В [16] показано, что метод сетевого оператора успешно решает задачу синтеза для группы из двух роботов. При увеличении числа роботов увеличивается количество входов и выходов сетевого оператора и соответственно значительно воз-

растает размерность матрицы сетевого оператора. Для преодоления указанных трудностей в настоящей работе предложена новая концепция многослойного сетевого оператора. Многослойный сетевой оператор представляет собой связанную последовательность сетевых операторов малой размерности, когда значения на выходе одного сетевого оператора могут являться входами для другого.

Концепцию организации вычислений на основе многослойного сетевого оператора рассмотрим на примере.

Пусть имеется функция

$$\begin{aligned} y_1 &= \cos(x_1 + \sin(x_2 + q_2)), \\ y_2 &= e^{-q_1 x_1 + q_2} \cos(x_1^2 - x_2^2). \end{aligned} \quad (1)$$

Представим (1) в виде многослойного сетевого оператора со следующими параметрами: количество слоев $N = 6$, размерность каждого слоя $L \times L$, $L = 6$, количество входов на каждом слое $I = 2$.

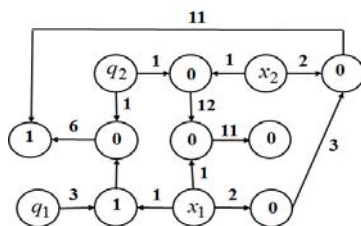


Рис. 1. Сетевой оператор выражения

Номера бинарных и унарных операций соответствуют приложению монографии [15]. Матрицы каждого слоя сетевого оператора будут иметь вид

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Psi_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Psi_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \\ \Psi_4 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Psi_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Psi_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Вводим нулевой слой или вектор входов сетевого оператора. Размерность вектора входов соответствует количеству узлов-источников графа сетевого оператора (см. рис. 1).

$$\mathbf{z}^0 = [x_1 \ x_2 \ q_1 \ q_2]^T.$$

Для описания связей между слоями вводим матрицу связей размерности $N \times (2I)$. Каждая строка матрицы соответствует номеру слоя. Каждый нечетный столбец матрицы указывает на номер входа данного слоя, откуда приходит входная величина, а значение четного столбца указывает на номер строки матрицы, от которой приходит входная величина. Если указан номер слоя 0, то входная величина берется из вектора входов, соответственно, значение элемента четного столбца указывает на номер компоненты вектора входов.

Матрица связей в рассматриваемом примере имеет вид

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 1 & 6 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 4 & 4 & 6 \\ 3 & 6 & 5 & 6 \end{bmatrix}.$$

Матрица выходов имеет размерность $2 \times M$, где M - число кодируемых математических выражений или число выходов. В рассматриваемом случае $M = 2$ и

$$\Omega = \begin{bmatrix} 2 & 6 \\ 6 & 6 \end{bmatrix},$$

где в верхней строке указывается номер слоя, а в нижней - соответствующий номер выхода.

Для вычисления математического выражения используем следующий алгоритм

$$z_{k,r} = \begin{cases} z^0, & \text{если } \sigma_{k,2r-1} = 0 \\ z_{\sigma_{k,2r}}, & \text{если } \sigma_{k,2r-1} = 0 \\ z_{\sigma_{k,2r-1}, \sigma_{k,2r}} & \text{иначе} \end{cases},$$

$$z_{k,j} \leftarrow \begin{cases} \chi_{\psi_{k,i,j}}(z_{k,j}, \rho_{\psi_{k,i,j}}(z_{k,i})) & \text{если } \psi_{k,i,j} \neq 0 \\ z_{k,j} & \text{иначе} \end{cases},$$

где $\Psi_k = [\psi_{k,i,j}]$, $\Sigma = [\sigma_{k,m}]$, $m = \overline{1, 2I}$, k - номер слоя, $k = \overline{1, N}$, r - номер входа, $r = \overline{1, I}$, i - номер строки матрицы сетевого оператора, $i = \overline{1, L}$, j - номер столбца сетевого оператора, $j = \overline{i+1, L-2}$, $\rho_d(z)$ - унарная операция под номером d , $\chi_g(z_1, z_2)$ - бинарная операция под номером g .

Значение кодируемой функции определяем из соотношения

$$y_p = z_{\omega_{1,p}, \omega_{2,p}}, \quad p = \overline{1, M},$$

где $\Omega = [\omega_{l,t}]$, $l = \overline{1, M}$, $t = 1, 2$.

Работа выполнена по гранту РФФИ №14-08-00008-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Parker L.E. Path planning and motion coordination in multiple mobile robot teams, in R. A. Meyers (ed.), *Encyclopedia of Complexity and System Science*, Springer, Knoxville, Tennessee, USA, chapter 13, pp. 5783–5800, 2009.
- [2] Stroupe A., Okon A., Robinson M., Huntsberger T., Aghazarian H., Baumgartner E. Sustainable cooperative robotic technologies for human and robotic outpost infrastructure construction and maintenance. *Autonomous Robots*, 20(2):113–123, 2006.
- [3] Jennings J. S., Whelan G., and Evans W. F. Cooperative search and rescue with a team of mobile robots. In *Proceedings of the 8th International Conference on Advanced Robotics*, pages 193–200, 1997.
- [4] Shaffer G and Stentz A. A robotic system for underground coal mining. In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 633–638, 1992.
- [5] Thorpe C., Jochem T., and Pomerleau D.. The 1997 automated highway free agent demonstration. In *Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation System*, pages 496–501, 1997.
- [6] Parker L. E. and Draper J. Robotics applications in maintenance and repair. In S. Nof, editor, *Handbook of Industrial Robotics*, pages 1023–1036. Wiley Publishers, 2nd edition, 1999.
- [7] Simmons R., Singh S., Hershberger D., Ramos J., and Smith T. First results in the coordination of heterogeneous robots for large-scale assembly. In *Proc. of the ISER Seventh International Symposium on Experimental Robotics*. Springer-Verlag, 2000.
- [8] Parker L. E. ALLIANCE: An architecture for fault-tolerant multi-robot cooperation. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 14(2):220–240, 1998.
- [9] Guo Y., Parker L. E., and Madhavan R. Towards collaborative robots for infrastructure security applications. In *Proceedings of International Symposium on Collaborative Technologies and Systems*, pages 235–240, 2004.
- [10] Pilarski T., Happold M., Pangels H., Ollis M., Fitzpatrick K., and Stentz A.. The demeter system for automated harvesting. In *Proceedings of the 8th International Topical Meeting on Robotics and Remote Systems*, 1999.
- [11] Alami R., Fleury S., Herrb M., Ingrand F., and Robert F. Multi-robot cooperation in the MARTHA project. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 5(1):36–47, 1998.
- [12] Hazard C., Wurman P. R., and D’Andrea R. Alphabet soup: A testbed for studying resource allocation in multi-vehicle systems. In *Proceedings of AAAI*

- Workshop on Auction Mechanisms for Robot Coordination, pages 23–30, 2006.
- [13] Fujimura K. Motion Planning in Dynamic Environment. Computer Science Workbench. Springer-Verlag, Tokyo, 1991.
- [14] Hopcroft J. E., Schwartz J. T., and M Sharir. On the complexity of motion planning for multiple independent objects; PSPACE-Hardness of the "Warehouseman's Problem". The International Journal of Robotics Research, 3(4):76–88, 1984.
- [15] Дивеев А.И. Метод сетевого оператора. – М.: ВЦ РАН, 2010. 178 с.
- [16] Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Синтез системы управления группой роботов методом сетевого оператора // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-14123>.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕЩЕСТВ В ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ МЕТОДОМ СЕТЕВОГО ОПЕРАТОРА

А.И. Дивеев¹
С.В. Константинов²
Е.А. Софронова²

¹ – ВЦ РАН им. А.А. Дородницына
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

² – Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В работе представлен новый метод идентификации математических моделей сложных химических реакций. Авторы обращают внимание, что закон действующих масс в химической кинетике, не всегда позволяет адекватно описывать сложные химические реакции, и для таких случаев предлагают использовать метод сетевого оператора. В вычислительном эксперименте рассматривается химическая реакция гидроалюминирования олефинов алюминийорганическими соединениями в присутствии катализатора. Результаты вычислительного эксперимента показывают адекватное описание сложных химических реакций и подтверждают эффективность метода сетевого оператора для вывода кинетических уравнений.

Ключевые слова: кинетическая модель, идентификация математической модели, метод сетевого оператора.

Кинетическая модель – это система уравнений, описывающих химические реакции в условиях, где отсутствует сопротивление массо- и теплопереносу, в зависимости от концентраций реагирующих веществ в

газовой фазе и на поверхности катализатора, температуры, давления, изменяющихся во всей области параметров [7]. Кинетическая модель является необходимым этапом при моделировании химических процессов и аппаратов. От степени адекватности математического описания кинетической модели зависит выбор оптимальных условий проведения сложной химической реакции [8]. Для прогнозирования поведения химических реакций в любой момент времени в любых условиях используют разработанный ещё в 19 веке закон Гульдберга-Вааге (закон действующих масс). Данный закон утверждает, что скорость изменения концентрации вещества в ходе реакции, пропорциональна произведению концентраций веществ, участвующих в реакции, в соответствующих степенях. Закон действующих масс не всегда позволяет адекватно описывать сложные химические гетерогенные реакции [5].

Используя закон действующих масс в качестве базисного, в данной работе мы предложили эволюционному алгоритму уточнить соотношение Гульдберга-Вааге в соответствии с полученными экспериментальными данными. Для уточнения соотношения мы используем метод сетевого оператора, описанный в [1, 2]. В качестве эксперимента была взята сложная химическая реакция, в которой участвует 15 веществ, и математическая модель которой содержит 15 дифференциальных уравнений.

Заданы экспериментальные данные по результатам наблюдения прохождения химической реакции

$$Y = \left((y^0, t_0), (y^1, t_1), \dots, (y^M, t_M) \right), \quad (1)$$

где y^j - вектор наблюдаемых параметров химической реакции в момент

$$t_j, \mathbf{y}^j = \begin{bmatrix} y_1^j & \dots & y_K^j \end{bmatrix}^T.$$

Известны соотношения, которые описывают зависимость значений параметров реакций от концентраций веществ, участвующих в реакции.

$$\mathbf{y} = \mathbf{v}(\mathbf{x}), \quad (2)$$

где \mathbf{x} - вектор концентраций веществ в реакции $\mathbf{x} = [x_1 \dots x_N]^T$.

Задана в общем виде математическая модель химической реакции в форме системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{h}(\mathbf{x}), \quad (3)$$

где \mathbf{h} - вектор взаимодействий веществ, $\mathbf{h} = [h_1 \dots h_R]^T$, \mathbf{A} - числовая матрица размерностью $N \times R$.

Компоненты вектора \mathbf{w} взаимодействия веществ известны с точностью до веществ, участвующих в взаимодействии. Предполагаем, что во взаимодействии участвуют не более двух веществ

$$h_k = w_{i,j}, k = 1, 2, \dots, R, 0 \leq i, j \leq N, \quad (4)$$

где

$$w_{i,j} = g(q_k, x_i, x_j), 1 \leq i, j \leq N, \quad (5)$$

$$w_{0,j} = g(q_k, 1, x_j), w_{i,0} = g(q_k, x_i, 1), \quad (6)$$

где q_k - искомые значения компонент вектора параметров $\mathbf{q} = [q_1 \dots q_R]^T$, $g(q_k, \alpha, \beta)$ - искомая функция, описывающая взаимодействие веществ α, β .

Заданы начальные значения концентраций веществ

$$\mathbf{x}(t_0) = [x_1(t_0) \dots x_N(t_0)]^T. \quad (7)$$

Заданы уравнения химического баланса, которые в терминах задач оптимизации обычно называются ограничениями в виде равенств

$$d_i(\mathbf{x}) = 0, i = 1, 2, \dots, l. \quad (8)$$

Необходимо найти функцию $\tilde{g}(q_k, \alpha, \beta)$ и значения вектора параметров $\tilde{\mathbf{q}} = [\tilde{q}_1 \dots \tilde{q}_R]^T$, которые для решения $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ уравнений (3) дают минимум функционалам

$$J_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M (y_i^j - v(\tilde{\mathbf{x}}(t_j)))^2} + \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^M |d_r(\mathbf{x}(t_j))|, \quad (9)$$

$$J_2 = \max_{i,j} \left\{ |y_i^j - v(\tilde{\mathbf{x}}(t_j))| : i = \overline{1, K}, j = \overline{1, M} \right\} + \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^M |d_r(\mathbf{x}(t_j))|. \quad (10)$$

Для решения используем метод сетевого оператора. Данный метод применяет кодировку математического выражения в форме вложенных друг в друга композиций функций. Подробно правила кодирования математических выражений в форме матрицы сетевого оператора изложены в работах [1-3].

В качестве примера рассматриваем химическую реакцию гидроалюминирования олефинов алюминийорганическими соединениями в присутствии катализатора $(C_5H_5)_2ZrCl_2$ [6]. Математическая модель реакции имеет следующий вид

$$\dot{x}_1 = -w_{2,2} - w_{1,0} - w_{1,5} - w_{1,9},$$

$$\dot{x}_2 = w_{9,10} - 2w_{2,2} + 2w_{1,0} - w_{2,3} + w_{1,5} - w_{2,5} + w_{5,7} + w_{5,10} - w_{2,9},$$

$$\dot{x}_3 = -w_{2,3} - w_{3,8},$$

$$\dot{x}_4 = w_{2,3} + w_{3,8} - w_{4,5},$$

$$\begin{aligned}
\dot{x}_5 &= w_{2,3} - w_{1,5} - w_{2,5} + 2w_{3,8} - w_{4,5} - w_{5,7} - w_{5,15} + w_{10,0} - w_{5,10} + w_{2,9}, \\
\dot{x}_6 &= w_{4,5} - w_{6,11} + w_{9,19}, \\
\dot{x}_7 &= w_{4,5} - w_{5,7} - w_{7,9}, \quad (11) \\
\dot{x}_8 &= w_{1,5} + w_{2,5} - w_{3,8} + w_{1,9}, \\
\dot{x}_9 &= -w_{9,15} + w_{8,11} - w_{9,18} - w_{9,10} - w_{1,9} - w_{7,9} + w_{6,11} - w_{9,19} + w_{5,10} - w_{2,9}, \\
\dot{x}_{10} &= w_{9,18} - w_{9,10} + w_{1,9} + w_{7,9} + w_{5,15} - w_{10,0} - w_{5,10} + w_{2,9}, \\
\dot{x}_{11} &= w_{9,15} - w_{8,11} + w_{9,10} - w_{6,11} + w_{9,19}, \\
\dot{x}_{13} &= w_{9,18} + w_{9,10}, \\
\dot{x}_{15} &= -w_{9,15} + w_{8,11} - w_{5,15} + w_{10,0}, \\
\dot{x}_{18} &= w_{9,15} - w_{8,11} + w_{9,18}, \\
\dot{x}_{19} &= w_{6,11} - w_{9,19},
\end{aligned}$$

где $x_1 = [Cp_2 Zr H_2 \cdot Cl Al Bu_2]_2$, $x_2 = [Cp_2 Zr H_2 \cdot Cl Al Bu_2]$,
 $x_3 = C H_2 C H R$, $x_4 = Cp_2 Zr Cl(CH_2 CH_2 R)$, $x_5 = H Al Bu_2$,
 $x_6 = Bu_2 Al(CH_2 CH_2 R)$, $x_7 = Cp_2 Zr H Cl$,
 $x_8 = [Cp_2 Zr H_2 Cl \cdot H Al Bu_2 \cdot Cl Al Bu_2]$, $x_9 = Cl Al Bu_2$,
 $x_{10} = [Cp_2 Zr H Cl \cdot Cl Al Bu_2]$, $x_{11} = Cl_2 Al Bu$, $x_{13} = C_4 H_8$,
 $x_{14} = Al Bu_3$, $x_{15} = Cp_2 Zr Cl_2$, $x_{18} = Cp_2 Zr Cl Bu$,
 $x_{19} = Cl Bu Al(CH_2 CH_2)$, значения R зависит от используемого в реак-
ции олефина ($R = C_5 H_{11} \cdot C_6 H_{13} \cdot C_7 H_{15} \cdot C_8 H_{17}$), $Bu = C_4 H_9$,
 $Cp = C_5 H_5$, $w_{i,j} = g(q_k, x_i, x_j)$ – неизвестная функция от трех аргумен-
тов, q_k – неизвестные значения постоянных параметров, $i \neq 0$, $j \neq 0$,
 $w_{i,0} = g(q_k, x_i, 1)$.

Для данной системы дифференциальных уравнений были заданы сле-
дующие начальные условия: $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = 0$, $x_3(0) = 0,451$,
 $x_4(0) = 0$, $x_5(0) = 0$, $x_6(0) = 0$, $x_7(0) = 0$, $x_8(0) = 0$, $x_9(0) = 0,541$,
 $x_{10}(0) = 0$, $x_{11}(0) = 0$, $x_{13}(0) = 0$, $x_{15}(0) = 0,008$, $x_{18}(0) = 0$, $x_{19}(0) = 0$.

Уравнения баланса имеют вид:

$$\begin{aligned}
d_1(\mathbf{x}) &= 60x_1 + 30x_2 + 3x_3 + 14x_4 + 19x_5 + 22x_6 + 11x_7 + 49x_8 + 18x_9 + \\
&+ 29x_{10} + 9x_{11} + 8x_{13} + 67x_{15} + 19x_{18} + 13x_{19} - 11,63, \\
d_2(\mathbf{x}) &= 36x_1 + 18x_2 + 2x_3 + 12x_4 + 8x_5 + 10x_6 + 10x_7 + 26x_8 + 8x_9 + \\
&+ 18x_{10} + 4x_{11} + 4x_{13} + 10x_{15} + 14x_{18} + 6x_{19} - 5,31, \quad (12)
\end{aligned}$$

$$d_3(\mathbf{x}) = 2x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + 2x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{19} - 0,541,$$

$$d_4(\mathbf{x}) = 2x_1 + x_2 + x_4 + x_7 + x_8 + x_9 + 2x_{10} + 2x_{11} + 2x_{15} + x_{18} + x_{19} - 0,56,$$

$$d_5(\mathbf{x}) = 2x_1 + x_2 + x_4 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{15} + x_{18} - 0,008,$$

$$d_6(\mathbf{x}) = x_3 + x_4 + x_6 + x_{19} - 0,451.$$

Экспериментальные значения концентрации веществ и моменты времени, в которые она определена, приведены в табл. 1.

При решении данной задачи использовался метод сетевого оператора. Для поиска решения был выбран вариационный генетический алгоритм с множественным базисом. Алгоритм имел следующие значения параметров: количество возможных решений в начальной популяции: 256; число поколений: 2048; число возможных скрещиваемых пар в поколении: 128; число вариаций в одном решении: 4; вероятность мутации: 0,7; число базисов: 5; число элитарных решений: 8; число поколений между сменой базисов: 16.

Для реализации поиска на ЭВМ была использована модифицированная программа идентификации математических моделей методом сетевого оператора, осуществляющая промежуточный анализ и сохранение данных популяций. Вычисления проводились на ЭВМ с 4-х ядерным процессором с тактовой частотой 2,8 ГГц. Общее время вычислений составило приблизительно 140 часов.

Таблица 1

Экспериментальные данные изменения отношения концентрации веществ x_3 и x_{19} .

t, мин	$x_3/(x_3+x_{19})$	$x_{19}/(x_3+x_{19})$
5	0,9621	0,0379
10	0,9386	0,0614
15	0,9034	0,0966
20	0,8975	0,1025
25	0,8994	0,1006
30	0,8988	0,1012
35	0,9053	0,0947
40	0,9112	0,0888
45	0,9216	0,0784
50	0,9094	0,0906
55	0,9073	0,0927
62	0,8901	0,1099
70	0,8897	0,1103
75	0,8858	0,1142
80	0,8877	0,1123
85	0,8857	0,1143
90	0,8882	0,1118
95	0,8779	0,1221

t, мин	$x_3/(x_3+x_{19})$	$x_{19}/(x_3+x_{19})$
175	0,3437	0,6563
180	0,2938	0,7062
190	0,287	0,713
200	0,2791	0,7209
210	0,2713	0,7287
220	0,2624	0,7376
230	0,2595	0,7405
240	0,2498	0,7502
250	0,2419	0,7581
260	0,24	0,76
270	0,2302	0,7698
280	0,2263	0,7737
290	0,2184	0,7816
300	0,2106	0,7894
310	0,2087	0,7913
320	0,1969	0,8031
330	0,191	0,809
340	0,1852	0,8148

100	0,8701	0,1299
105	0,8642	0,1358
115	0,8466	0,1534
125	0,832	0,168
135	0,7371	0,2629
145	0,6411	0,3589
155	0,5517	0,4483
165	0,4474	0,5526
170	0,3965	0,6035

350	0,1774	0,8226
360	0,1707	0,8293
370	0,1656	0,8344
380	0,1617	0,8383
390	0,1558	0,8442
400	0,15	0,85
410	0,146	0,854
420	0,1393	0,8607

В результате вычислений был получен сетевой оператор:

$$\Psi = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 0 & 23 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 23 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

который соответствует следующему уравнению:

$$g(q_{i,j}, x_i, x_j) = A - A^3, \quad (14)$$

где $A = \arctan(q_{i,j}B) + q_{i,j}B^2 + q_{i,j}B^3 + \frac{1-e^{-B}}{1+e^{-B}}$; $B = x_j(x_i - x_i^3)$.

Графики, построенные на экспериментальных и вычисленных с использованием полученной математической модели значениях, показывающие изменения отношения концентрации веществ x_3 и x_{19} во времени t , приведены на рис. 1 и рис. 2.

Значения функционалов (9) для полученного решения:

$$J_{1,1} = \sqrt{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M (y_i^j - v(\tilde{x}(t_j)))^2} = 0.7014,$$

$$J_{1,2} = \Delta t \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^M |d_r(x(t_j))| = 0.4618,$$

где Δt – шаг интегрирования, $\Delta t = 0.01$.

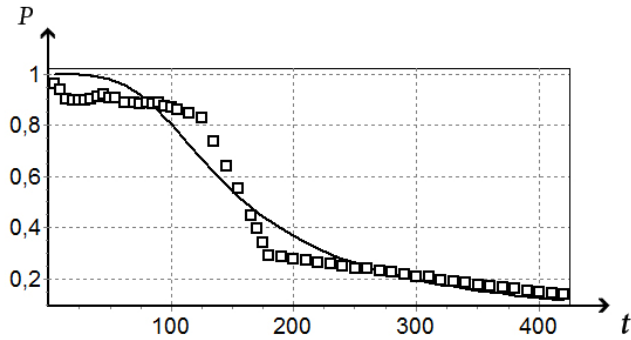


Рис. 1 Экспериментальные (\square) и расчетные (—) значения изменения отношения концентрации вещества x_3 ($P = x_3 / (x_3 + x_{19})$)

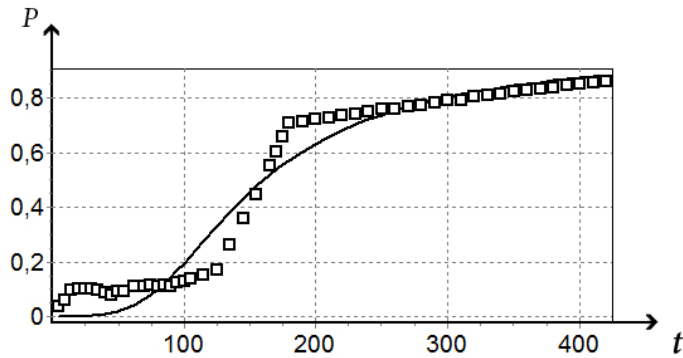


Рис. 2 Экспериментальные (\square) и расчетные (—) значения изменения отношения концентрации вещества x_{19} ($P = x_{19} / (x_3 + x_{19})$)

Значения параметров для полученного решения: $q_{2,2} = 78.289$, $q_{1,0} = 124.57$, $q_{1,5} = 12.742$, $q_{2,5} = 11.742$, $q_{1,9} = 78.11$, $q_{2,9} = 20.25$, $q_{5,10} = 7.461$, $q_{9,10} = 105.32$, $q_{2,3} = 35.63$, $q_{4,5} = 74.72$, $q_{5,7} = 121.0$, $q_{3,8} = 1.828$, $q_{9,13} = 83.633$, $q_{8,11} = 88.781$, $q_{9,14} = 108.625$, $q_{7,9} = 85.594$, $q_{6,11} = 11.07$, $q_{9,15} = 100.047$, $q_{5,13} = 0.20215$, $q_{10,0} = 34.961$.

Анализ полученных математических выражений и их сравнение с уравнениями закона Гульдберга-Вааге позволили уточнить закон Гульдберга-Вааге и представить его в виде:

$$w_{i,j} = q_{i,j} (x_i - x_i^3) (x_j - x_j^3). \quad (15)$$

При этом для уточнённого закона были получены следующие значения параметров: $q_{2,2} = 172.71$, $q_{1,0} = 0.3828$, $q_{1,5} = 69.629$, $q_{2,5} = 3.488$, $q_{1,9} = 145.66$, $q_{2,9} = 27.22$, $q_{5,10} = 35.766$, $q_{9,10} = 241.0$, $q_{2,3} = 205.457$, $q_{4,5} = 15.109$, $q_{5,7} = 170.12$, $q_{3,8} = 102.3$, $q_{9,13} = 38.754$, $q_{8,11} = 11.418$, $q_{9,14} = 173.418$, $q_{7,9} = 252.746$, $q_{6,11} = 32.441$, $q_{9,15} = 154.836$, $q_{5,13} = 97.273$, $q_{10,0} = 89.137$, а значения функционалов (9) для уточнённого закона (15): $J_{1,1} = 0.605$, $J_{1,2} = 0.2449$.

Сравнение данных экспериментального и вычислительного экспериментов (рис. 1 и рис. 2) показывает, что предложенный авторами метод вывода кинетических уравнений даёт адекватное описание сложных химических реакций. При этом полученные зависимости изменения концентраций участвующих в реакции веществ от времени сохраняют экспериментально наблюдаемые индукционные периоды. Предсказания условий возникновения и устойчивого существования индукционных периодов позволяют избежать те режимы ведения химических процессов, при которых могут возникнуть нежелательные взрывные процессы, а также прогнозировать реакционную способность исходных реагентов. Например, в рассматриваемых реакциях гидроалюминирования можно количественно описать реакционную способность олефинов.

По результатам анализа полученной с помощью сетевого оператора математической модели был предложен уточнённый закон Гульдберга-Вааге, который показал более точное соответствие экспериментальным данным.

Данные результаты получены только при одной концентрации катализатора Sp_2ZrCl_2 . В дальнейшем планируется рассмотреть варианты при разных концентрациях катализатора, с разными типами алюминий-органических соединений.

Работа выполнена по темам грантов РФФИ №13-08-00523-а и № 15-07-01764-а

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дивеев А.И. Метод сетевого оператора. М.: ВЦ РАН, 2010. 178 с.
- [2] Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. М.: РУДН, 2012. 182 с.
- [3] Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Синтез системы управления мобильным роботом методом сетевого оператора и алгоритмом интеллектуальной эволюции // Нелинейный мир, Т.12. № 7, 2014. С. 42-47.
- [4] Крылов О.В. Гетерогенный катализ // Москва: ИКЦ «Академкнига». – 2004. – 679 с.

- [5] Парфенова Л.В., Печаткина С.В., Халилов Л.М., Джемилев У.М. Исследование механизма гидроалюминирования олефинов алкилаланами, катализируемого Cr_2ZrCl_2 // Изв. АН. Сер. хим.- 2005.- №2.- С. 311-322
- [6] Слинько М.Г. Основы и принципы математического моделирования каталитических процессов. Новосибирск, 2004. 488 с.
- [7] Яблонский Г.С., Быков В.И., Горбань А.Н. Кинетические модели каталитических реакций. Новосибирск: Наука, 1983. 255 с.
- [8] Diveev A.I., Sofronova E.A. The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation// Chapter in the book Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications/ Edited by Shangce Gao. Intech. Printed 2012. February, Croatia. P. 19-42.

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

Гэн Кэ Кэ, аспирант

Н.А. Чулин, к.т.н.

Кафедра "Системы Автоматического Управления" (ИУ-1)
Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана
2-я Бауманская, д.5, Москва, Россия, 105005

В данной статье представлен алгоритм обнаружения движущихся объектов при полёте квадрокоптера с использованием соответствующих характерных точек изображений и точной компенсации фонового движения. Предложен новый метод обнаружения фоновых точек на основе идеи метода Оцу. Вычислены параметры шести параметрической аффинной модели изображений для улучшения точности компенсации фоновой движения методом наименьших квадратов. Для более достоверного обнаружения движущихся объектов используется метод вычитания фонового кадра из текущего кадра. Результаты моделирования показывают, что алгоритм может выделять несколько движущихся объектов в сложных динамических сценах.

Ключевые слова: квадрокоптер, обнаружения движущихся объектов, компенсации фоновой движения, метод Оцу.

Квадрокоптер представляет собой беспилотный летательный аппарат (БПЛА), имеющий четыре двигателя с воздушными винтами. Установленная на квадрокоптере камера является главным источником информации о среде, в которой происходит движение. Данные с камеры, являясь динамическими изображениями, могут отражать информацию о дви-

жении объектов. В настоящее время существуют много методов обнаружения движущихся объектов. Большинство из них нацелены на решение задачи при условии статического фона. Намного труднее обнаружить движущиеся объекты на движущемся фоне, особенно, если фон быстро меняется, что характерно для изображений с камер квадрокоптера.

В данной статье представлен алгоритм обнаружения движущихся объектов при полёте квадрокоптера, на основе анализа соответствия характерных точек изображений и компенсации фонового движения. На первом этапе работы алгоритма определяются характерные точки изображений двух соседних кадров, находят соответствия точек и удаляются «ложные» соответствия. На втором этапе для компенсации фонового движения, вызванного движением камеры, определяется матрица преобразования модели движения камеры с помощью характерных точек фона. Последним третьим этапом является отделение целевого изображения от фона, для чего используется вычитание фонового кадра из текущего кадра. Схема алгоритма показано на рис. 1.

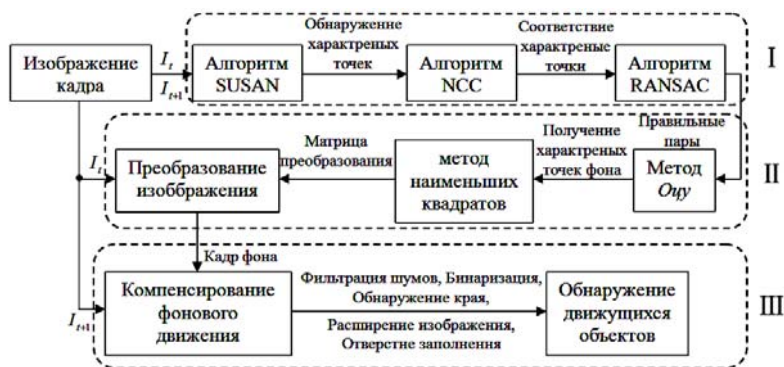


Рис.1 Схема алгоритма

1. Соответствие характерных точек изображений

В настоящее время существует множество алгоритмов обнаружения характерных точек, предназначенных для разных областей применения, на пример алгоритм Harris, алгоритм FAST, алгоритм FASTER, алгоритм Shi-Tomas, алгоритм Moravec, алгоритм SUSAN и другие [1]. В данной работе выбран алгоритм SUSAN, предложенный Смитом и Бреди (Smith и Brady, 1997) [2], который при сравнимом качестве является наиболее быстрыми. Подобный алгоритм имеет высокую устойчивость для аффинных преобразований, размытия и измерения яркости изображений. Для выделения правильных пар соответствия характерных точек сначала

определяется грубое соответствие для всех характерных точек с помощью улучшенной функции нормированной взаимной корреляции NCC (Normalized cross correlation) [3], после чего удаляются неправильные пары соответствий алгоритмом RANSAC [4,5].

2. Оценка фонового движения

Фоновое движение, вызванное движением камеры, включает перемещение, вращение, масштабирование, и может быть аппроксимирована аффинной моделью. Наиболее часто используются двух-, трех-, четырех-, шести- и восьми параметрические модели движения [6]. Чем больше параметров, тем точнее оценки движения, но — сложнее расчеты. В качестве компромиссной используем шести параметрическую аффинную модель. Для аффинной модели:

$$\begin{bmatrix} x_i^t \\ y_i^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cdot x_i^{t-1} + a_2 \cdot y_i^{t-1} + t_1 \\ a_3 \cdot x_i^{t-1} + a_4 \cdot y_i^{t-1} + t_2 \end{bmatrix}$$

где $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ - коэффициенты аффинного преобразования; (x_i^{t-1}, y_i^{t-1}) и (x_i^t, y_i^t) - пиксельные координаты соответствующих точек (p_i, q_i) на изображении рамки при $t - 1$ и изображении рамки при t .

$$\text{Введём } \begin{cases} A_{1i} = [x_i^{t-1}, y_i^{t-1}, 0, 0, 1, 0] \\ A_{2i} = [0, 0, x_i^{t-1}, y_i^{t-1}, 0, 1] \end{cases} T = [a_1, a_2, a_3, a_4, t_1, t_2]^T$$

Для всех характерных точек:

$$\begin{aligned} F_1 &= A_1 \cdot T \\ F_2 &= A_2 \cdot T \end{aligned}$$

$$\text{где } F_1 = [x_1^t, x_2^t \dots x_N^t]^T, F_2 = [y_1^t, y_2^t \dots y_N^t]^T; A_1 = [A_{11}, A_{12} \dots A_{1N}]^T,$$

$$A_2 = [A_{21}, A_{22} \dots A_{2N}]^T; N - \text{число характерных точек.}$$

Матрица параметров определяется с использованием метода наименьших квадратов. Из необходимого условия $\partial f / \partial T = 0$ минимальности

$$\text{функции } f = \sum_{k=1}^N (A_{1i} \cdot T - F_{1i})^2 + (A_{2i} \cdot T - F_{2i})^2. \text{ То можно получить}$$

начальную матрицу преобразования :

$$T = \text{inv}(A_1^T \cdot A_1) \cdot A_1^T \cdot F_1 + \text{inv}(A_2^T \cdot A_2) \cdot A_2^T \cdot F_2$$

В данной статье предлагается новый алгоритм удаления характерных точек движущихся объектов на основе идеи метода Оцу [7]. Алгоритм можно представить в следующем виде:

Шаг 1. Вычисление отклонений $d_i = \sqrt{(A_{1i} \cdot T^* - F_{1i})^2 + (A_{2i} \cdot T^* - F_{2i})^2}$.

Шаг 2. Определение порога. Разделяем интервал отклонений на K классов: $\Delta d = (d_{\max} - d_{\min}) / K$. Введем числа характерных точек n_j с величиной отклонения в интервале $[d_{\min} + \Delta d \cdot (j-1), d_{\min} + \Delta d \cdot j]$, $j \in [1, K]$, и вероятности $\rho_j = n_j / K$. При этом $N = n_1 + n_2 + \dots + n_j + \dots + n_N$. Если ввести порог $thd = d_{\min} + \Delta d \cdot m$, $m \in [1, K]$ и множества характерных точек фона и движущихся объектов Ω_B и Ω_M , то вероятность и средние отклонения

$$\begin{aligned} \rho(\Omega_B) &= \sum_{j=1}^m \rho_j & \mu(\Omega_B) &= \sum_{j=1}^m d_j / \sum_{j=1}^m n_j \\ \rho(\Omega_M) &= \sum_{j=m+1}^K \rho_j & \mu(\Omega_M) &= \sum_{j=m+1}^N d_j / \sum_{j=m+1}^N n_j \end{aligned}$$

Дисперсия между классами:

$$\sigma = \rho(\Omega_B) \cdot \rho(\Omega_M) \cdot [\mu(\Omega_B) - \mu(\Omega_M)]^2$$

Таким образом, порог определяется из условия

$$thd = \arg \max_{1 \leq m \leq K} (\sigma)$$

Шаг 3. Удаление характерных точек движущихся объектов. Вышеуказанные шаги повторяются M раз, где M соответствует числу объектов, движущихся с разными скоростями.

3. Компенсации движения фона и обнаружение движущихся объектов

В соответствии с шестью параметрической моделью аффинного преобразования, полученной приведённым выше алгоритмом, можем получить матрицу аффинных преобразований между двумя соседними

изображениями кадров I_t и I_{t+1} : $A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & t_1 \\ a_3 & a_4 & t_2 \end{bmatrix}$.

Чтобы компенсировать глобальное движение, сначала необходимо получить компенсированный кадр I_c , соответствующий фону кадра I_{t+1} :

$$I_c(x_p, y_p) = I_t \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} A^T \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix}$$

где (x_p, y_p) -координаты точки P на компенсированном кадре I_c .

Для исключения влияния изменения границы кадров, отступаем на 20

пикселей от краёв плоскости изображения. Чтобы безошибочно обнаружить движущиеся объекты, используем метод вычитания фонового кадра из текущего кадра, и, при необходимости, проводим дополнительную обработку изображения (фильтрацию шумов, бинаризацию, явное обнаружение края, расширение изображения, заполнение «отверстий»).

4. Результаты и их анализ

Для проверки эффективности предложенного алгоритма, проведена обработка серии динамических изображений с четырьмя движущимися объектами. Результаты иллюстрируются на рис. 2.

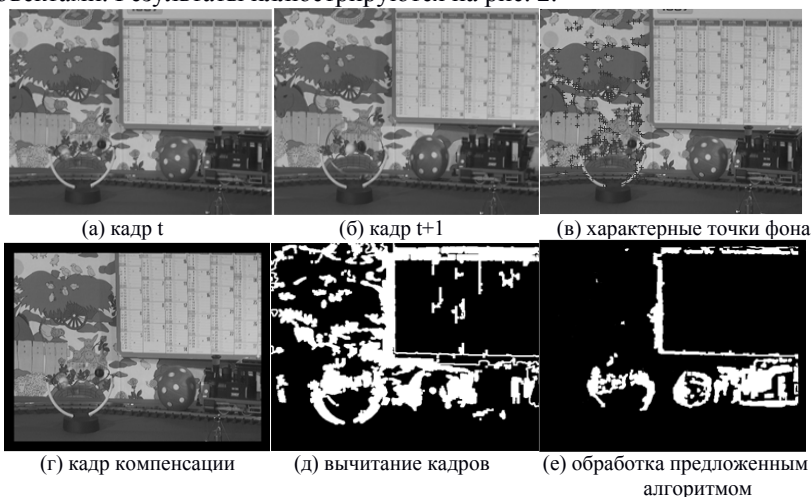


Рис. 2 Обнаружение движущихся объектов

На рисунке позиции (а) и (б) - изображения кадров t и $t+1$; (в) - изображение I_t с характерными точками фона, полученное после трёх итераций; (с) - кадр изображения после точной компенсации движения фона; (д) - изображение после вычитания кадров. Видно что, прямое использование метода вычитания кадров не даёт обнаружения движущихся объектов из-за фонового движения. В позиции (е) показан результат применения предложенного алгоритма.

Число пикселей изображения кадров равно 400×512 , на них обнаружено 821 и 825 характерных точек, среди них 395 правильных пар соответствующих точек. После трех итераций число пар соответствия характерных точек фона, полученных предложенным алгоритмом, равно 192, что вполне достаточно для оценки движения фона. Как видно из результатов обнаружения предлагаемым алгоритмом, при отделении движущегося фона помехи практически полностью устранены, контуры

обнаруженных объектов достаточно полные, т.е. получен удовлетворительный результат обнаружения для нескольких движущихся объектов при движении фона.

В дальнейшем предлагается создать подобный алгоритм для отслеживания движущихся объектов и динамического планирования маршрута.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Krig S. Computer Vision Metrics: Survey, Taxonomy, and Analysis[M]. Apress, 2014.
- [2] Chen K Y, Dong W P, Jeong C S. SUSAN window based cost calculation for fast stereo matching[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 38(2): 947—952.
- [3] Hii A J H, Hann C E, Chase J G, et al. Fast normalized cross correlation for motion tracking using basis functions[J]. Computer methods and programs in biomedicine, 2006, 82(2): 144-156.
- [4] R.B. Fisher. The RANSAC (Random Sample Consensus) Algorithm. Режим доступа: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/FISHER/RANSAC/ (дата обращения: 19.10.2014).
- [5] M.A. Fischler and R.C. Bolles. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, 24(6):381—395, 1981.
- [6] Mech R, Wollborn M. A noise robust method for 2D shape estimation of moving objects in video sequences considering a moving camera[J]. Signal Processing, 1998, 66(2): 203-217.
- [7] Zhang J, Hu J. Image segmentation based on 2D Otsu method with histogram analysis[C]//Computer Science and Software Engineering, 2008 International Conference on. IEEE, 2008, 6: 105-108.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ТОЛЕРАНТНОСТИ НА H_∞ -РОБАСТНУЮ СТАБИЛИЗАЦИЮ ДВИЖЕНИЯ МОТОЦИКЛА С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ РЕГУЛЯТОРА

Д.А. Андриков¹
М.А. Синельщикова²
Д.А. Андриков³
Е.М. Воронов¹

1 - Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

2, 3 - Кафедра технологии приборостроения, Кафедра системы автоматического управления

Московский государственный технический университет им.Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия, 105005

В работе исследовано влияние уровня толерантности как ключевого параметра синтеза робастного регулятора на основе H_∞ -теории управления. Разработана модель объекта управления. В качестве исполнительного механизма применяется гидроцилиндр с потенциометром обратной связи с токопроводящими обмотками. Для целей практической реализации регулятора учтена технологичность его конструкции.

Ключевые слова: робастное управление, мотоцикл.

Интенсивность движения автотранспорта значительно возросла за последнее десятилетие. Высока популярность, особенно среди молодежи, мотоциклов. К сожалению, основная возрастная группа мотоциклистов находится в том возрасте, когда самоутверждение, стремление к превосходству и максимализму берут верх над уравновешенностью и осмотрительностью. Следовательно, психофизические характеристики водителя не позволяют с должным вниманием относиться к безопасности дорожного движения. Согласно статистике, аварийность, в том числе смертность, достигла значительных показателей (2 тыс. аварий в год в Москве из около 10 тыс. дорожно-транспортных происшествий). Одной из причин столь высоких показателей является низкий уровень водительского мастерства: мало кто учится водить мотоцикл профессионально, не учитываются погодные условия, состояние дорожного полотна и методики правильного торможения. Столь большой набор случайных факторов действительно может быть причиной серьезных аварий.

Принимая во внимание не самую высокую степень автоматизации систем управления мотоциклом, а порой и намеренный отказ водителя от активных систем безопасности движения в угоду адреналиновой зависимости от риска, предлагается рассмотреть систему робастной стабилизации [1, 2] мотоцикла, вмешивающуюся в управление движением лишь

при тенденции к срыву в неустойчивость (падение мотоциклиста). Робастная стабилизация позволит повысить управляемость и безопасность езды.

В качестве расчетной модели объекта управления рассмотрим механическую систему [3], состоящую из дорожного полотна, ведомого колеса с пневматической шиной, упруго подвешенного к корпусу мотоцикла и имеющего упругую связь с дорогой. Дорожное полотно взаимодействует с ведущим колесом без потери контакта. Относительно корпуса мотоцикла колесо имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат примем: θ - угол поворота колеса вокруг вертикальной оси при изменении направления движения и ψ - угол поворота колеса вокруг горизонтальной оси подвески, параллельной продольной оси мотоцикла.

Основной задачей повышения безопасности движения мотоцикла будем считать противодействие возмущениям, возникающим на дороге, передающимся на переднюю вилку и, как следствие, на руль. Необходимо парировать возмущающие воздействия руля и не передавать их на раму.

Одним из методов противостояния интенсивному колебательному процессу на руле (эффект шимми) является оснащение рулевой вилки демпфером. Существуют демпферы с ручной регулировкой (рис. 1).



Рис. 1. Пример демпфера с ручной регулировкой упругости руля мотоцикла

Недостатком конструкции (рис. 1) является необходимость вручную (во время движения) учитывать и изменять коэффициент демпфирования согласно внешним воздействиям и манере движения. Для автоматизации процесса стабилизации позиционирования передней вилки мотоцикла во время движения и придания системе управления робастных свойств необходимо ввести в контур регулирования обратную связь. Для робастности стабилизации достаточно оценить возмущения по норме и использовать в модели управления.

Модель объекта управления приведена в [4]:

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\theta} &= -h_1 \dot{\theta} - c_1 \theta + Xl - M_z + i_k \Omega \dot{\psi}, \\ J_2 \ddot{\psi} &= -h_2 \dot{\psi} - c_2 \psi + YR + Zb - M_x + i_k \Omega \dot{\theta}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $J_1, J_2, h_1, h_2, c_1, c_2$ - моменты инерции, коэффициенты демпфирования, коэффициенты жесткости рулевого управления и подвески мотоцикла, соответствующие изменениям координат θ и ψ ; i_k - момент инерции колеса относительно оси собственного вращения; Ω - угловая скорость собственного вращения колеса. Последние слагаемые $i_k \Omega \dot{\psi}$ и $i_k \Omega \dot{\theta}$ - гироскопический момент, возникающий при угловых отклонениях вращающегося колеса.

Распределенные силы в пятне контакта и, следовательно, составляющие главного вектора и главного момента в первом приближении приняты пропорциональными отклонениям θ и ψ . Поэтому представим их линейными зависимостями и получим линеаризованное представление для (1) в виде передаточной функции

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{s^2 + \xi_2 s + (\omega_2^2 - b_{12})}{s^2 + \xi_1 s + (\omega_1^2 - c_{21} - b_{21})}, \quad (2)$$

где $W(s)$ – передаточная функция, $Y(s)$ – угол поворота θ переднего колеса вокруг вертикальной оси, $X(s)$ – угол поворота ψ переднего колеса вокруг горизонтальной оси подвески, параллельной продольной оси мотоцикла. Остальные параметры зависят от массогабаритных характеристик мотоцикла и приведены в [3] и [4].

Алгоритмы, полученные с помощью H_∞ -оптимизации, позволяют синтезировать управление в условиях неполного и неточного знания характеристик объекта управления и параметров окружающей среды.

В рамках представленного исследования и ограничений модели [4] будем рассматривать сигнальную неопределенность в виде возмущающих воздействий, ограниченных по норме [5].

В качестве исполнительного механизма стабилизации используется гидравлический цилиндр [3], закрепленный на раме мотоцикла 4 и соединенный с передней вилкой 3 (рис. 2). Гидроцилиндр включает корпус 1 со штуцерами для подвода рабочей жидкости, поршень со штоком, крышки с уплотнениями. На цилиндре установлен регулятор с потенциометром обратной связи 2, содержащий подвижный контакт и токопроводящую обмотку.

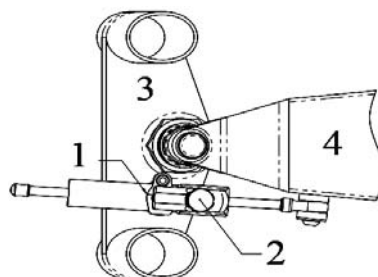


Рис. 2. Закрепление исполнительного механизма в мотоцикле:

1 – гидроцилиндр, 2 – регулятор, 3 – передняя вилка, 4 – рама мотоцикла

Анализ технологичности производства исполнительного механизма показал, что необходимо обеспечить постоянное контактное давление с токопроводящей обмоткой, а также скорректировать погрешности изготовления и размещения потенциометра на гидроцилиндре за счет упругого стержня поводка и шарнирного соединения поводка с рамой 4.

Кроме того, разделение регулятора с потенциометром 2 и гидроцилиндром за счет выполнения резьбового соединения штока с поводком и установки регулировочных шайб между фланцем каркаса и крышкой позволяет проводить автономную регулировку и тарировку потенциометра при согласовании среднего положения поршня с нейтральным положением подвижного контакта на обмотке, что улучшает технологичность сборки гидроцилиндра [6]. Следовательно, улучшается технологичность исполнительного механизма.

Учет технологичности исполнительного механизма влияет на линейность и высокую точность отработки управляющих сигналов, что позволяет снизить вычислительные требования к синтезу робастного регулятора и учитывать исполнительный механизм в модели объекта управления в качестве коэффициента усиления. Этот результат достигается тем, что в гидроцилиндре, изолирующий каркас которого снабжен фланцем, связанным с корпусом крепежными элементами, токопроводящие обмотки размещены на каркасе, а поводок с подвижными контактами связан с одним концом штока, а также тем, что имеются регулировочные шайбы для изменения расположения подвижных контактов относительно токопроводящих обмоток. В торце штока, обращенном к потенциометру обратной связи, выполнены резьбовое отверстие, соосное оси штока, а также два радиальных соосных отверстия, ось которых расположена в плоскости, перпендикулярной оси штока. Поводок выполнен в виде упругого стержня, один конец которого снабжен резьбой и размещен в резьбовом отверстии штока, а другой конец закреплен посредством шарнира. Регулировочные шайбы установлены между крышкой гидроцилиндра и привалочной плоскостью фланца потенциометра обратной связи [7].

Для управления изменением давления внутри цилиндра через потенциометр обратной связи с учетом влияния технологичности на характеристику исполнительного механизма синтезируем робастный регулятор для парирования возмущений, что обеспечит стабилизацию движения. В качестве синтеза используем два независимых алгебраических уравнений Риккати (CARE, FARE) [2]:

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty (B_2 B_2^T - \gamma^{-2} B_1 B_1^T) X_\infty + C_1^T C_1 = 0$$

$$A Y_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty (C_2^T C_2 - \gamma^{-2} C_1^T C_1) Y_\infty + B_1 B_1^T = 0,$$

где $A, B_{1,2}, C_{1,2}$ – соответствующие матрицы в расширенном описании пространства состояния [2] модели (1), γ – уровень толерантности, X_∞, Y_∞ – решения соответствующих уравнений Риккати.

Для поиска оптимального решения необходима итерационная процедура, алгоритм формирования регулятора приведен в [2]. Для того, чтобы избежать итерационности при расчете, применяем субоптимальный алгоритм, который базируется на методе предварительной оценки уровня толерантности.

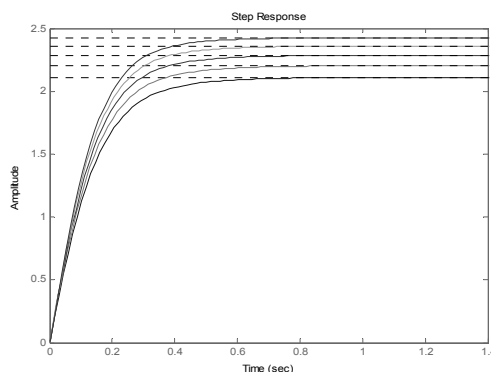


Рис. 3. Влияние уровня толерантности γ на примере реакции на «ступеньку»

Выполняем расчет выходного сигнала как реакции на ступенчатое воздействие. Наименьший (близкий к оптимальному значению) уровень толерантности дает наиболее нечувствительный результат влияния возмущений на выходной сигнал (рис. 3).

Выбираем оптимальный уровень толерантности и сравниваем реакцию системы без регулятора (неустойчивая) и с робастным регулятором (устойчивая) на импульсное и ступенчатое воздействие (рис. 4, 5).

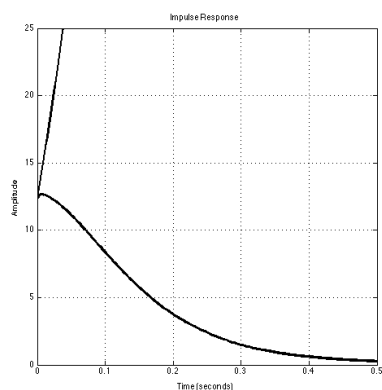


Рис. 4. Реакция на импульс

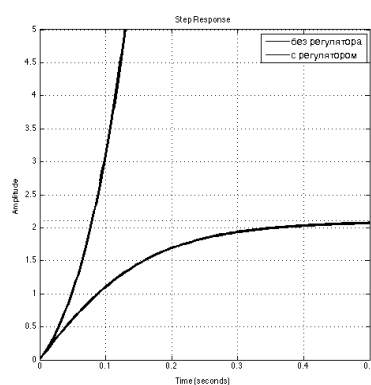


Рис. 5. Реакция на «ступеньку»

Результаты моделирования (рис. 3–5) показали влияние уровня толерантности с учетом технологичности регулятора на синтез робастного закона управления для стабилизации движения мотоцикла.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Методы классической и современной теории автоматического управления / К.А. Пупков, Е.М. Воронов, В.Г. Коньков и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 252 с.
- [2] Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.
- [3] Semi-active steering damper control in two-wheeled vehicles / P. de Filipri, M. Tanelli, M. Corno etc. // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2010. – Vol. 19, no. 5. – P. 1003-1020.
- [4] Алтуфов Н.А., Колесников К.С. Устойчивость движения и равновесия. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 253 с.
- [5] Podgorski W.A., Krauter A.I., Rand R.H. The wheel shimmy problem: Its relationship to wheel and road irregularities // Vehicle System Dynamics. – 1975. – No. 4. – P. 9-41.
- [6] Бекиров Я.А. Технология производства следящего гидропривода. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с.
- [7] Пат. 2329411 РФ. Гидроцилиндр рулевой машины / В.В. Чеканов, И.В. Усков // Бюл. – 2008. – № 20.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОПУЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

С.В. Константинов, ассистент

М.А. Мишинева, студент

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В работе представлен краткий обзор популяционных методов глобальной оптимизации. Приводится описание обобщенной схемы популяционных алгоритмов, а также более подробное описание четырех хорошо зарекомендовавших себя методов: метода пчелиного роя, метода роя частиц, метода, инспирированного летучими мышами, и метода светлячков.

Ключевые слова: популяционные методы оптимизации, метод пчелиного роя, метод роя частиц, метод, инспирированный летучими мышами, метод светлячков.

Еще с древних времен человек искал вдохновения у природы. Природа служила источником вдохновения для художников, композиторов, философов и ученых. И в наше время наблюдение за природой позволяет совершать значимые открытия.

Популяционные методы решения задач глобальной оптимизации, рассматриваемые в этой работе, еще называют инспирированными природой. Они основаны на моделировании интеллектуального поведения членов организованных популяций. В природе такой коллективный интеллект можно встретить среди общественных насекомых, например, муравьев, пчел и термитов, среди некоторых видов рыб и птиц и др.

Одним из главных факторов, поспособствовавших появлению в начале 90-х годов XX века первых популяционных методов оптимизации, стал рост вычислительных возможностей ЭВМ. Научные поиски в классе популяционных методов оптимизации, появление новых и усовершенствование старых методов продолжается и в наше время. Популяционные методы оптимизации имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими методами при решении задач высокой размерности, а также плохо формализованных задач [1]. Они обеспечивают более эффективный поиск решений близких к оптимальным, которые часто являются достаточными.

Обобщенный алгоритм популяционных методов включает в себя три основных этапа: инициализацию популяции агентов, миграцию агентов популяции и процедуру завершения поиска. Термин агент является общим названием членов популяции.

На этапе инициализации агентов популяции с помощью детерминированных или случайных алгоритмов формируются агенты начальной популяции. Если информация о приблизительном местоположении экстремума отсутствует, то агенты начальной популяции распределяются равномерно по всей области поиска.

На этапе миграции агентов популяции используются специфические для каждого из популяционных методов алгоритмы перемещения агентов в заданной области поиска, с целью их приближения к глобальному экстремуму функции пригодности агентов - фитнес-функции. Фитнес-функция, как правило, совпадает с оптимизируемой функцией. В общем случае в качестве фитнес-функции используется некоторое преобразование оптимизируемой функции.

В процедуре окончания поиска производится проверка условия окончания поиска, например, достижение заданного терминального числа итераций или отсутствие изменений лучшего значения функции на протяжении определенного числа итераций. Если условия окончания выполнены, то вычисления заканчиваются, а лучшее решение становится приближенным решением задачи. Если условие окончания не выполнено, то происходит возврат ко второму шагу алгоритма.

Важной особенностью популяционных методов оптимизации является то, что стратегия поиска, используемая каждым из агентов, должна быть достаточно проста. Каждый агент должен обладать информацией только об ограниченной исследуемой им части области поиска. Не должно быть агентов, управляющих процессом поиска в целом, а движение каждого агента должно быть хотя бы частично независимым. При этом агенты должны иметь возможность передачи друг другу информации о выявленной топологии функции в своей области поиска, а процесс миграции агентов должен содержать случайную величину для обеспечения стохастичности поиска. Данные особенности агентов обеспечивают формирование коллективного интеллекта и самоорганизацию популяции.

Для дальнейшего обзора современных популяционных методов глобальной оптимизации приведем постановку задачи поисковой оптимизации:

$$\min_{X \in D \subset R^n} f(X) = f(X^*) = f^*,$$

где n – размерность вектора варьируемых параметров $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$; R^n – n -мерное арифметическое пространство; D – множество допустимых значений вектора X ; $f(X)$ – целевая функция;

X^* – искомое оптимальное решение; f^* – значение целевой функции при X^* .

Метод пчелиного роя или пчелиный алгоритм (Bees Algorithm) является мультиагентным методом случайного поиска, основанным на моделировании поведения пчёл [3]. В классе популяционных методов пчелиный алгоритм является довольно новым методом – впервые статьи, в которых рассматривался данный метод, были опубликованы в 2005 году.

Объектом поиска для пчел является источник нектара, обладающий наилучшими показателями пригодности, например, по количеству нектара, удалённости от улья и др. Пчелы, осуществляющие добычу нектара на своем участке, могут делиться информацией о пригодности своего участка с другими пчелами. Таким образом, на основе информации, полученной от других пчел, пчела может принять решение оставить свой источник нектара, так как он хуже других, или же наоборот "пригласить" других пчел использовать найденный ею источник как самый пригодный.

Пусть $V = \{B_\alpha, \alpha \in [1: M]\}$ – пчелиный рой, где B_α – пчела (агент), M – число пчел (агентов) в рое. Положение пчелы B_α в момент времени t определяется вектором ее координат $X_{\alpha,t} = (x_{\alpha,t,1}, x_{\alpha,t,2}, \dots, x_{\alpha,t,n}) \in D$.

Среди всех пчел-агентов выделяется S пчел-разведчиков $B_\beta^s \in V$, $\beta \in [1: S]$, $S < M$. На первом шаге метода случайным распределением выбираются точки с координатами $X_{\beta,0} = (x_{\beta,0,1}, x_{\beta,0,2}, \dots, x_{\beta,0,n}) \in D$, в которые отправляются пчелы-разведчики. Вычисление значений целевой функции в этих точках $F(X_{\beta,0})$ позволяет выделить два вида подобластей области D , которые называются подобластями локального поиска d_β : k лучших подобластей, которым соответствует наибольшее значение целевой функции (так как объектом поиска пчел является источник нектара с наибольшей пригодностью, то здесь пойдет речь о максимизации целевой функции); и p перспективных подобластей, значение целевой функции в которых наиболее близко к лучшим значениям. Далее в каждую из лучших и перспективных подобластей посылаются по K и P пчел-агентов соответственно. Координаты каждой пчелы-агента в подобластях определяются случайным образом. Количество пчел-агентов K и P , посылаемых в подобласти, пропорционально значениям целевой функции. На основе анализа данных о целевой функции, полученных уже от всех пчел-агентов, выделяются новые лучшие и перспективные подобласти, размеры которых уменьшаются с ростом числа итераций. Таким

образом, для каждой из подобластей решение сводится к локальному максимуму целевой функции в этой подобласти.

Метод роя частиц (Particle swarm optimization – PSO) основан на имитации социально-поведенческих моделей организованных групп [1, 4]. Метод строится на тех же принципах, на основе которых птицы в стае и рыбы в косяке ведут себя удивительно синхронно, двигаясь в том или ином направлении как единое целое. Авторами метода являются J. Kennedy и R. Eberhart, которые предложили идею канонического метода роя частиц в 1995 году. В методе роя частиц распределённые в пространстве параметров задачи оптимизации частицы играют роль агентов. Частицы перемещаются в пространстве параметров и изменяют направление и скорость своего движения на основе определенных правил. На каждой итерации вычисляется соответствующее положению частицы значение целевой функции. Также частице доступна информация о наилучшей частице из числа соседних с ней частиц и информация о лучшем собственном значении на предыдущих итерациях. На основе этой информации определяется правило изменения положения и скорости частицы в пространстве параметров.

Пусть $S = \{S_i, i \in [1:M]\}$ – множество частиц, где M – число частиц (агентов) в рое S . Положение частицы S_i в момент времени t определяется вектором ее координат $X_{i,t} = (x_{i,t,1}, x_{i,t,2}, \dots, x_{i,t,n}) \in D$, а ее скорость – вектором $V_{i,t} = (v_{i,t,1}, v_{i,t,2}, \dots, v_{i,t,n})$. На первом шаге метода задаются соответственно начальные координаты $X_{i,0}$ и скорость $V_{i,0}$ частицы. Схема изменения положения и скорости частицы в пространстве параметров имеет следующий вид:

$$X_{i,t+1} = X_{i,t} + V_{i,t+1};$$

$$V_{i,t+1} = \alpha V_{i,t} + P_n[0;\beta] \times (X_{i,t}^b - X_{i,t}) + P_n[0;\gamma] \times (X_{g,t} - X_{i,t}),$$

где $P_n[a;b]$ – n -мерный вектор псевдослучайных значений, равномерно распределенных на интервале $[a;b]$; $X_{i,t}^b$ – вектор координат частицы с лучшим собственным значением на предыдущих итерациях; $X_{g,t}$ – вектор координат лучшей соседней частицы; α, β, γ – свободные параметры алгоритма со следующими рекомендуемыми значениями: $\alpha = 0,7298$; $\beta = \gamma = 1,4962$.

Метод, инспирированный летучими мышами, (Bat-Inspired Algorithm) является одним из новейших в классе популяционных методов. Он был предложен X.-Sh. Yang в 2010 году [2]. Летучие мыши обладают уни-

кальными средствами эхолокации, которая используется для обеспечения полетов в темноте и обнаружения добычи.

Пусть $B = \{B_i, i \in [1: M]\}$ – популяция летучих мышей – агентов, где M – число агентов в популяции B . Летучие мыши движутся случайным образом. Их текущее положение в момент времени t определяется вектором координат $X_{i,t} = (x_{i,t,1}, x_{i,t,2}, \dots, x_{i,t,n}) \in D$, а скорость – вектором $V_{i,t} = (v_{i,t,1}, v_{i,t,2}, \dots, v_{i,t,n})$. В процессе поиска добычи летучие мыши генерируют сигналы, имеющие частоту ω_i и громкость a_i . Частота сигналов и их громкость может изменяться в заданных пределах – $[\omega_{\min}; \omega_{\max}]$ и $[0;1]$ соответственно. Также может изменяться частота повторения сигналов $r_i \in [0;1]$. На первом шаге метода случайным распределением задаются соответственно начальные координаты $X_{i,0}$, скорость $V_{i,0}$, частота сигнала $\omega_{i,0}$, громкость сигнала $a_{i,0}$ и частота повторения сигнала $r_{i,0}$. Определяется вектор координат X^b агента, доставляющего глобально лучшее решение. Выполняется миграционная процедура по следующей схеме:

$$\begin{aligned} X_{i,t+1} &= X_{i,t} + V_{i,t+1}; \\ V_{i,t+1} &= V_{i,t} + \omega_{i,t+1}(X_{i,t} - X^b); \\ \omega_{i,t+1} &= \omega^{\min} + (\omega^{\max} - \omega^{\min})P_1[0;1], \end{aligned}$$

где $P_1[0;1]$ – случайное число, равномерно распределенное на интервале $[0;1]$.

Далее реализуется случайный локальный поиск по следующей схеме:

$$X'_{i,t} = X_{i,t} + \bar{a}P_n[-1;1],$$

где $P_n[-1;1]$ – n -мерный вектор псевдослучайных значений, равномерно распределенных на интервале $[-1;1]$; \bar{a} – текущее среднее значение громкостей всех агентов популяции:

$$\bar{a} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M a_i.$$

Схема локального поиска повторяется либо до получения вектора $X'_{i,t}$, при котором значение фитнес-функции $\varphi(X'_{i,t})$ лучше, чем при $X_{i,t}$, либо до достижения терминального числа повторов схемы. На последнем этапе реализуется эволюция параметров a_i и r_i по правилу:

$$a_{i,t+1} = b_a a_{i,t};$$

$$r_{i,t+1} = r_{i,0}(1 - \exp(-b_r t)),$$

где $b_a \in (0;1)$, $b_r > 0$ – свободные параметры алгоритма, рекомендуемые значения которых равны 0,9.

Метод светлячков (Firefly Algorithm) также был предложен Х.-Sh. Yang, но тремя годами ранее чем метод, инспирированный летучими мышами [2]. За основу метода берется особенность светлячков привлекать друг друга, независимо от пола. Привлекательность светлячков пропорциональна яркости их свечения. Очевидно, что видимая друг другом яркость светлячков уменьшается с увеличением расстояния между ними. При этом светлячок, который не видит другого светлячка ярче себя, движется случайным образом.

Пусть $S = \{S_i, i \in [1:M]\}$ – множество светлячков, где M – число светлячков (агентов) в популяции S . Положение светлячка S_i в момент времени t определяется вектором его координат $X_{i,t} = (x_{i,t,1}, x_{i,t,2}, \dots, x_{i,t,n}) \in D$. Яркость светового излучения светлячка S_i берется равной значению фитнес-функции $\varphi(X_{i,t})$ в его текущем положении. Привлекательность данного светлячка для другого светлячка S_j вычисляется по формуле

$$\beta_{i,j} = \frac{\beta_0}{1 + r_{i,j}^2},$$

где β_0 – взаимная привлекательность светлячков при нулевом расстоянии между ними; $r_{i,j}$ – расстояние между двумя светлячками; γ – параметр алгоритма, имеющий смысл коэффициента поглощения света средой.

Если светлячок S_i видит более яркого светлячка S_j , т.е. если $\varphi(X_{i,t}) < \varphi(X_{j,t})$, то выполняется миграционная процедура по формуле

$$X_{i,t+1} = X_j + \beta_{i,j}(X_i - X_j) + \alpha P_n(-1;1),$$

где α – свободный параметр рандомизации, который рекомендуется уменьшать с увеличением числа пройденных итераций; $P_n(-1;1)$ – n -мерный вектор псевдослучайных значений, равномерно распределенных на интервале $(-1;1)$.

В качестве значений свободных параметров метода светлячков рекомендуется брать $\beta_0 = 1$; $\alpha \in [0;1]$; $\gamma = 1$. Причем крайевые значения коэффициента поглощения света γ порождают два частных случая метода

светлячков. При $\gamma \rightarrow 0$ видимость светлячками друг друга не зависит от расстояния, следовательно $\beta_{i,j} \rightarrow \beta_0$. В таком случае метод светлячков совпадает с методом роя частиц. При $\gamma \rightarrow \infty$ видимость светлячками друг друга отсутствует, следовательно $\beta_{i,j} \rightarrow 0$, а в движении светлячков присутствует только случайная составляющая. В таком случае метод светлячков вырождается в метод случайного поиска.

Ограниченный объем работы позволил рассмотреть лишь небольшую часть популяционных методов оптимизации. Рассмотренные методы показали свою эффективность для решения широкого круга прикладных задач, среди которых задачи календарного планирования, задачи параметрической оптимизации, задачи коммивояжера, транспортные задачи и др. Класс популяционных методов оптимизации активно развивается. Множество новых методов появляется путем гибридизации нескольких хорошо зарекомендовавших себя популяционных методов оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дивеев А.И., Константинов С.В. Сравнительный экспериментальный анализ эволюционных алгоритмов оптимизации // Интеллектуальные системы: труды одиннадцатого международного симпозиума. 2014. с. 139-144.
- [2] Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов // Информационные технологии. 2012. №7, с. 1-32.
- [3] Субботин С.А., Олейник А.А. Мультиагентная оптимизация на основе метода пчелиной колонии // Кибернетика и системный анализ. 2009. №3. с. 15-25.
- [4] Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of IEEE International conference on Neural Networks. 1995. P. 1942-1948.

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМА ОБОРОТНОГО ФОНДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ЗАДАНИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОТОВНОСТИ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В.О. Карасев В.О

АНО НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»
5-й Донской проезд д15с2, г. Москва, Россия, 119334

Доклад посвящен решению задачи определения объема оборотного фонда запасных частей, обеспечивающего заданные показатели готовности воздушных судов, при минимизации затрат на создание такого фонда.

Для решения указанной задачи разработана математическая модель, описывающая задачу как оптимизационную, и разработано программное обеспечение для численного расчета. Приведены примеры расчетов. Дано определение эксплуатационно-экономической эффективности. Рассмотрена зависимость коэффициента эксплуатационно-экономической эффективности от коэффициента готовности системы МТО.

Обеспечение высокого уровня готовности парка воздушных судов за счет сокращения времени их вынужденных простоев является основной задачей инженерно-технической службы любой авиакомпании. Простои воздушных судов (ВС) могут быть обусловлены выполнением планового технического обслуживания (ТО), непланового ТО (устранением неисправностей), а также являться следствием отсутствия необходимых для выполнения ТОиР запасных частей.

При априорной оценке уровня готовности парка ВС, различные причины простоев учитываются в частных показателях готовности (каждый из которых отражает ту или иную причину простоев), с использованием которых, в свою очередь, рассчитывается уровень готовности в целом. Рассмотрим эти показатели готовности более подробно.

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Как правило, при вычислении данного показателя не учитываются простои, связанные с ожиданием необходимых запчастей, длительность которых может быть сравнима со временем самого ТО. Для устранения этого недостатка в отечественной учебной литературе ([0]) дополнительно вводятся следующие коэффициенты:

Коэффициент готовности изделия при бесконечной системе ЗИП ($K_{г\infty}$) - определение этого показателя совпадает с определением коэффициента готовности (далее используется термин « $K_{г}$ при бесконечном объеме запасов»);

Коэффициент готовности системы ЗИП ($K_{г\text{зип}}$) - отражает долю времени, в течение которого система ЗИП находится в работоспособном состоянии, то есть все заявки на запасные части удовлетворяются, т.е. данный коэффициент позволяет оценить долю простоев изделия в ожидании запасных частей (далее вместо термина «система ЗИП» используется термин «система материально-технического снабжения (МТО»)).

В современных нормативных документах также введен показатель «коэффициент эксплуатационной готовности», который наилучшим образом характеризует уровень готовности комплекса «воздушное судно

– система технической эксплуатации» и учитывает все виды простоев: связанные как с выполнением планового и непланового ТО, так и с

ожиданием необходимых запчастей. Приближенную формулу для расчета коэффициента эксплуатационной готовности можно представить как произведение трех показателей:

$$K_{ЭГ} \approx K_{ПП} \times K_{Z_{\infty}} \times K_{Z_{ЗИП}}, \quad (1)$$

где

$K_{ПП}$ - коэффициент планируемого применения (отражает долю времени, в течение которого ВС не должно находиться на плановом ТО);

$K_{Z_{\infty}}$ - коэффициент готовности ВС при бесконечной системе МТО (бесконечном объеме запасов);

$K_{Z_{ЗИП}}$ - коэффициент готовности системы МТО.

Для обобщенной оценки эффективности пары «изделие- система технической эксплуатации» может быть использован коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности.

Эксплуатационно-экономическая эффективность - мера совершенства конструкции комплекса (образца) и системы его технической эксплуатации, отражающая взаимовлияние характеристик готовности и стоимости владения.

Приближенную формулу для расчета $K_{ЭЭ}$ можно представить в следующем виде:

$$K_{ЭЭ} \approx \frac{K_{ЭГ}}{C_{ЭГ}} \approx \frac{K_{ПП} \times K_{Z_{\infty}} \times K_{Z_{ЗИП}}}{C_{общ.}}, \quad (2)$$

где

$K_{ПП}$ - коэффициент планируемого применения (отражает долю времени, в течение которого ВС не должно находиться на плановом ТО);

$K_{Z_{\infty}}$ - коэффициент готовности ВС при бесконечной системе ЗИП (бесконечном объеме запасов);

$K_{Z_{ЗИП}}$ - коэффициент готовности системы МТО.

$C_{общ.}$ - общие затраты на обеспечение заданного $K_{ЭГ}$. Составляющими частями общих затрат являются затраты на обеспечение заданных $K_{ПП}$, $K_{Z_{\infty}}$ и $K_{Z_{ЗИП}}$;

Таким образом, $K_{ЭЭЭ}$ – это отношение коэффициента эксплуатационной готовности к величине затрат на обеспечение технической эксплуатации.

Далее более подробно будет рассмотрена задача оптимизации одной из составляющих приведенной выше формулы: $\frac{K_{ЭЗЗПП}}{C_{ЭЗЗПП}}$, т.е. обеспечение необходимого $K_{ЭЗЗПП}$ при минимальном $C_{ЭЗЗПП}$.

Одним из условий обеспечения заданного уровня готовности изделия является поддержание оптимального объема оборотного фонда запасных частей. При этом особый интерес представляет установление зависимости между достигаемым значением коэффициента готовности и объемом фонда, т.е. его стоимостью.

Исходными данными для расчета значения $K_{г,зпп}$ являются:

- данные о составе ВС,
- данные о надежности СЧ (интенсивности отказов),
- данные о среднем времени поставки (ремонта) СЧ,
- данные о начальном объеме запасных частей каждого типа
- данные о модели (стратегии) управления запасами.

Теоретические основы оптимизации объема запасов достаточно подробно рассмотрены в [1],[2],[3],[4]. Так, в [4] подробно рассмотрены вопросы расчета коэффициента готовности системы МТО.

Для модели с непрерывным пополнением запасов формула расчета коэффициента готовности системы МТО для изделий i -го типа ($K_{ЭЗЗПП_i}$) выглядит следующим образом [1]:

$$K_{ЭЗЗПП_i} = 1 - \frac{(m_i \lambda_i T_i)^{A_i+1}}{(A_i + 1)! \sum_{j=1}^{A_i+1} \frac{(m_i \lambda_i T_i)^j}{j!}}, \quad 1) \quad ($$

Для модели с периодическим пополнением запасов:

$$K_{ЭЗЗПП_i} = \frac{1}{m_i \lambda_i T_i} \sum_{j=0}^{A_i} \left(1 - \sum_{k=0}^j \frac{(m_i \lambda_i T_i)^k}{k!} e^{-m_i \lambda_i T_i} \right), \quad 2) \quad ($$

Общая формула расчета для всего перечня изделий:

$$K_{ЭЗЗПП} = \prod_{i=1}^M K_{ЭЗЗПП_i}, \quad 3) \quad ($$

Практическим результатом данной работы являются результаты расчетов объема запасов (рис. 1) и график зависимости коэффициента готовности ЗИП от стоимости запаса (рис. 2).

№ п/п	Обозначение	Классификация	Издается в составе	Входит в состав	Рекомендуется	Производится на объекте	Исторические данные в количестве	Среднее время отказа в год	Выборочный запас при $K_{ЗИП} = 0,8$	Выборочный запас при $K_{ЗИП} = 0,9$	Выборочный запас при $K_{ЗИП} = 0,95$	Цена за 1 шт	Стоимость запаса (1 год, $K_{ЗИП} = 0,8$)	Стоимость запаса (1 год, $K_{ЗИП} = 0,9$)	Стоимость запаса (1 год, $K_{ЗИП} = 0,95$)
1	ГАЗЕТТИНОВЫЙ ДВИГ. АЭС		12	3	20	4420	Классический МТО	1,6	1	1	1	2			
2	Автомобильный двигатель		34	1	№	4300	МТО	8,0	13	14	14				
3	Выключатель, контактный, самозатягивающийся		34	2	20	8912,2	Классический МТО	8,1	4	3	3				
4	УСТАНОВКА СБОРКА ИЛИ ВОЗДУШНОГО		29	2	20	8936	Классический МТО	8,1	4	3	3				
5	Турбина винтовая 100 лошадиных сил		29	2	20	8936	МТО	8,2	3	3	3				
6	Трансмиссионное устройство		22	1	№	20000	МТО	6,2	1	1	1				
7	Труба медная		34	2	20	4420	Классический МТО	1,6	2	2	2				
8	Труба стальные оцинкованные		22	1	20	1200	Классический МТО	8,2	4	3	3				
9	Выключатель 100А		34	1	20	142	Классический МТО	4,0	4	4	4				
10	Двигатель электрический		29	2	20	28707	Классический МТО	8,2	4	3	3				
11	Установка винтовая		29	2	20	2100	МТО	84,0	13	14	14				
12	Автомобильный двигатель (АЭС)		48	1	20	990	МТО	1,6	1	1	1				
13	Выключатель автоматический		34	2	20	2471,87	Классический МТО	42,1	15	16	17				
14	Выключатель автоматический		34	2	20	2294,3	Классический МТО	3,7	3	3	4				
15	Выключатель автоматический		27	1	20	1119,3	Классический МТО	1,9	3	3	4				
16	Автомобильный двигатель		24	1	20	2200	Классический МТО	1,6	1	1	1				
17	Выключатель автоматический		27	1	20	1363	Классический МТО	8,1	4	3	3				
18	Блок трансмиссионный		22	1	20	4200	МТО	7,7	4	3	3				
19	Труба медная		22	1	20	18000	МТО	2,0	2	2	2				

Рис. 1. Фрагмент результатов расчета объема запасов

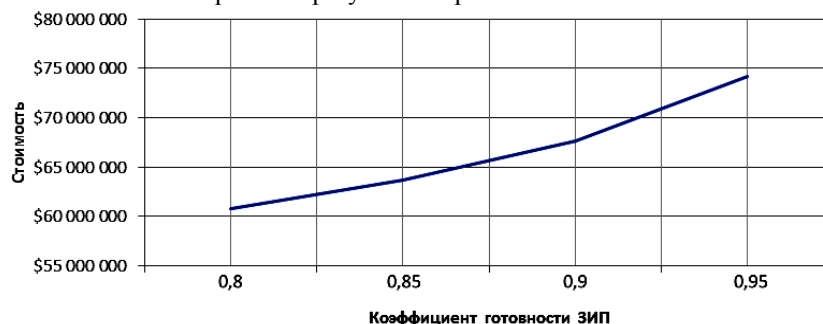


Рис. 2. Зависимость стоимости запаса от $K_{г\ ЗИП}$

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения приемлемых показателей $K_{г\ ЗИП}$ при использовании смешанной модели пополнения запасов и системы групповых запасов для отдельных образцов авиационной техники при заданных условиях показателей эксплуатации может быть необходима достаточно широкая номенклатура запасных частей.
2. Стоимость оборотного фонда запчастей по результатам расчета (рис.1) для парка из 20 самолетов будет при сценарии использования, описанном в таблице, может быть сопоставима с каталожной стоимостью нового самолета.
3. Эксплуатационно-экономическая эффективность и обоснованность затрат на оборотные фонды, обеспечивающие высокий $K_{г\ ЗИП}$ напрямую зависят от показателей $K_{ПП}$, $K_{г\ \infty}$ и затрат на них, а так же,

возможности влияния на них в конкретной ситуации. Так как именно вместе с этими показателями $K_{г\text{ЗИП}}$ и его стоимость влияют на коэффициент эксплуатационной готовности и эксплуатационно-экономическую эффективность, как парка ВС, так и отдельных бортов.

В докладе изложены теоретические основы формирования и оптимизации оборотных фондов, их формализация, возможные реализации, конкретный пример расчета объема оборотного фонда запасных частей для изделий гражданской авиационной техники. Показано, как применение предложенной методики позволяет авиакомпании получить значительное конкурентное преимущество: сократить издержки и окупить вложенные в исследования и разработку ПО инвестиции.

Дальнейшими направлениями развития рассмотренных в докладе вопросов может быть:

1. Реализация методик расчета оборотных фондов для стратегий периодического пополнения с экстренными доставками и пополнения запасов по уровню.
2. Разработка алгоритмов расчета величины оборотных фондов для многоуровневых систем управления запасами.
3. Разработка методов и алгоритмов расчета потребностей в запасных частях для изделий, у которых время между отказами является случайной величиной с распределением, отличным от экспоненциального.
4. Подробное исследование и сравнение результатов представленного алгоритма расчета оборотных фондов с результатами альтернативных программных продуктов для расчета и формирования оборотных фондов (АСОНИКА-К-РЭС, ИНТЕЛЛЕКТ-ЗИП и другие).
5. Более глубокое исследование влияния $K_{г\text{ЗИП}}$ на $K_{г\text{ЭЭ}}$ в различных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Г.Н. Черкесов «Оценка надежности систем с учетом ЗИП», СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 480с.
- [2] Craig C. Sherbrooke “Optimal inventory modeling of systems Multi-Echelon Techniques. Second Edition”, Kluwer Academic Publishers Group, 2004
- [3] Шура-Бура А.Э., Топольский М.В, «Методы организации расчета и оптимизации комплектов запасных элементов сложных технических систем»
- [4] Е.В. Судов, А.И. Левин, А.Н. Петров, А.В. Петров, Д.Н. Бороздин «Анализ логистической поддержки. Теория и практика», М.: ООО Издательство «Информ-Бюро», 2014. – 260с.

**МОДЕЛИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ, ГРУППОВЫХ И
КОЛЛЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
ЧЕРЕЗ ДИСПЛЕЙ КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ ЕЁ АНАЛИЗА,
ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЯ.**

Д.А. Суарес, аспирант

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В последние годы во всем мире наблюдается большой интерес к системам отображения информации (СОИ), применяемых в центрах управления энергетическими ресурсами, диспетчерских центрах, промышленности, на транспорте, в аварийно-спасательных службах, а также информационных и рекламных щитах на стадионах, на улицах и в больших залах. Функциональное назначение СОИ состоит в необходимости получения одновременной информации большого числа людей.

Основная цель СОИ - формирование для всех категорий специалистов, участвующих в управлении, различных массивов данных, необходимых для принятия решений. И здесь важную роль играет эффективность работы СОИ, для оценки которой служит набор критериев, количественно определяющих степень соответствия системы целям ее создания. Критерии должны быть наглядными, напрямую зависеть от работы системы, допускать ее оценку по результатам отображения данных. Один из основных критериев работы СОИ, позволяющий сравнивать различные системы между собой, ее релевантность, т.е. адекватность представляемой информации. Этот критерий может быть использован для сравнения существующих систем отображения при выборе одной из них или для сравнения различных вариантов одной и той же системы при ее проектировании или модернизации, чтобы оценить влияние изменений в системе на релевантность представляемой информации.

***ИНЖЕНЕРНО ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ,
ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
ОТОБРАЖЕНИЯ.***

Разработка СОИ, в основу которой положен синтез информационной модели (ИМ) объекта управления, включает в себя решение следующих задач: какую информацию (или информацию о чем) надо выдавать и в какой форме (или в каком виде) это лучше делать.

Для решения первой задачи необходимо, прежде всего знать, какие сведения об объекте являются существенными с точки зрения задачи управления и предполагаемых способов ее решения, а для решения второй задачи - необходимо знать, с каким материалом в психической сфере удобнее человеку решать задачу управления.

Зинченко В. П. показал, что главное требование, предъявляемое к ИМ, адекватность ее внешней обстановке. Для выполнения этого требования необходимо, чтобы ИМ представляла лишь существенные свойства, отношения, связи, взаимодействия управляемых объектов, являясь всегда упрощенным и неполным отражением действительности [2, С. 350].

В работе Венда В. Ф. отмечает, что оператор при расшифровке поступающей информации "может мысленно воссоздавать это скрытое за панелью СОИ содержание более или менее подробно в зависимости от того, какая доля сведений, достаточных для принятия и реализации оперативных решений, приходится на непосредственно воспринимаемую ИМ " [1, С. 398].

Таким образом, чем более основательно разберутся в физике объекта разработчики СОИ, чем больше у них опыт и знания об управлении объектом, тем полнее на СОИ будут отражены его оперативные свойства, тем меньше будет необходимость в другой информации об объекте, не отображаемой на СОИ.

Определение степени упрощения, выбор объема информации, представляемой человеку, является одной из основных задач психологического анализа функций оператора. От состава и структуры устройства отображения информации в значительной степени зависит сложность решения оперативных задач человеком в системе управления. Рассмотрим, исходя из этого, общие требования, предъявляемые к устройствам отображения информации [2, С. 352].

Тщательный выбор доминирующего критерия при синтезе информационной модели, ее соответствие эталону в памяти оператора - одно из основных требований.

Представление информации оператору необходимо обеспечивать в сконцентрированном виде; ИМ должна быть лаконичной. В связи с этим при проектировании ИМ целесообразно исследовать возможность представления оператору информации в обобщенной форме, чтобы сократить или исключить время на выделение, поиск и суммирование информации.

Интегрирование сигналов в укрупненные оперативные единицы информации рекомендуется в тех случаях, когда принятие решения требует от оператора:

- ✓ одновременной оценки нескольких взаимосвязанных параметров различного качества или параметров, изменяющихся во времени;
- ✓ суммирования большого объема однородной информации;
- ✓ сопоставления противоречивых или взаимосвязанных данных различной степени важности;
- ✓ ориентировочной оценки имеющихся сведений количественного характера;
- ✓ качественной оценки сложившейся ситуации.

В связи с тем, что в процессе работы у оператора может возникнуть необходимость в дополнительной, детализирующей информации, требуется рациональное разделение интегральной и детальной информации в пространстве и времени. Необходимо предусматривать возможность представления дополнительной информации по вызову.

Максимальное высвобождение внимания для принятия решения способствует повышению эффективности и надежности управления. Для этого необходимо обеспечить автоматизацию выполнения стандартных составляющих деятельности оператора. С этой целью рекомендуется применять единый на всю систему код для идентичных сигналов, пространственное соотнесение элементов индикации и управления, группирование элементов, связанных с выполнением отдельных операций, и др.

Существенное снижение сложности задач и повышение эффективности работы оператора часто может быть достигнуто путем наглядного отображения алгоритмов реализации решений по командно-информационному принципу [2, С. 356].

Оптимизация дифференцированного восприятия сигналов. Для этого необходимо при их кодировании учитывать оперативные пороги восприятия, выделять пространственным расположением, формой или цветом группы сигналов (элементов), относящихся к определенной операции или работе.

Важным требованием совершенствования СОИ является выбор уровня адаптации их структуры к функциям и психофизиологическим особенностям лиц, принимающих решения в АСУ [3, С. 40-48].

В случаях, когда на базе данных, полученных от СОИ, принимаются особо ответственные решения (управления отраслью и т. д.), необходима индивидуальная адаптация СОИ к особенностям функций и индивидуального стиля работы соответствующего руководителя. Рекомендуется создание в отраслевых АСУ таких интегральных СОИ, которые существенно бы облегчали общую, стратегическую оценку состояния отрасли, тенденции в ее динамике, выбор критических звеньев и принятие решений по управлению.

Использование СОИ со специальными анализаторами и запоминающими устройствами, предназначенными для оптимизации оперативного объема отображения, позволяет повысить эффективность и снизить напряженность деятельности оператора.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ (СОИ)

Обобщенная структурная схема СОИ показана на рисунке 1. От источника информация (ИИ) поступает в СОИ через интерфейс (УИ) по параллельным или последовательным каналам связи. С помощью интерфейса осуществляется механическое, электрическое и алгоритмическое согласование между собой выходных цепей ИИ и входных цепей СОИ [4,

С. 270]. В интерфейс входят линии связи, устройства согласования сигналов по уровню и мощности, а также устройства формирования управляющих сигналов, обеспечивающих заданный алгоритм обмена информацией. Стандартный интерфейс, включающий в себя аппаратную часть и программное обеспечение, определяющее алгоритм обмена информацией, играет важную роль в унификации узлов информационных систем, обеспечивающей взаимозаменяемость отдельных устройств и наращиваемость системы [5, С. 272].

Источником информации могут быть информационно-измерительные устройства, клавиатура ввода буквенно-цифровой информации, ЭВМ, устройства формирования фото-, кино- и телевизионных изображений и т. д. Следует отметить, что в системах с ЭВМ возможен двусторонний обмен информацией: как от ЭВМ к СОИ, так и наоборот, - что позволяет организовать диалоговый режим работы. При таком режиме оператор с помощью специальных устройств редактирует информацию, выведенную на СОИ с ЭВМ, а затем вновь вводит ее в ЭВМ. Диалоговый режим широко используется в системах автоматического проектирования и в системах автоматизации научных исследований.

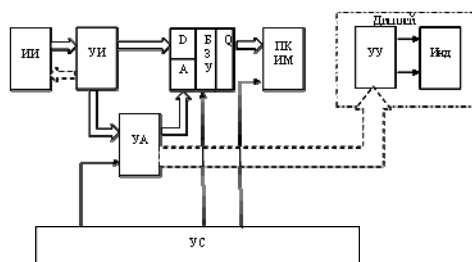


Рис. 1. Обобщенная структурная схема СОИ

Буферное запоминающее устройство (БЗУ) служит для промежуточного хранения информации, получаемой от ИИ, что позволяет согласовать работу СОИ и ИИ по скорости, а также организовать режим регенерации изображения без обращения к источнику информации. Информационная модель в БЗУ хранится в виде совокупности кодов элементов информационной модели, расположенных в той последовательности, в которой они должны находиться на информационном поле. Так, при формировании текстовой информационной модели в БЗУ заносятся стандартные коды знаков в последовательности, определяемой текстом.

Преобразователь кодов информационной модели (ПК ИМ) осуществляет преобразование кодов элементов информационной модели, заданных алфавитом источника информации, в код, определяемый алфавитом индикатора.

Устройство адресации (УА) задает положение (адрес) элемента информационной модели на информационном поле.

Индикатор является прибором, осуществляющим непосредственное преобразование электрических сигналов в видимое изображение.

Устройство управления (УУ) осуществляет энергетические и другие преобразования сигналов с выхода ПКИМ, необходимые для управления работой индикатора. Например, при использовании газоразрядных индикаторов в устройство управления входят ключи, обеспечивающие переключение с уровня возбуждения на уровень гашения газового разряда и наоборот. Индикатор вместе с устройством управления образуют блок индикации, называемый также дисплеем отображения.

Устройство синхронизации (УС) обеспечивает синхронизацию работы всех узлов СОИ между собой и с источником информации.

При формировании сложной информационной модели информация, получаемая от различных источников, должна пройти предварительную подготовку и обработку по определенному алгоритму. Следовательно, кроме технических средств для отображения информации необходимо создать соответствующее программное обеспечение. Комплекс средств отображения информации и средств математического обеспечения, включающих в себя алгоритмы обработки информации, образует систему отображения информации. СОИ, обеспечивающие связь человека с ЭВМ, называют терминальными СОИ (или дисплеями).

ЭРГОНОМИКА И КОМФОРТ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Интерес к этой области знаний вызван в первую очередь стремительным развитием по всему миру технологий многомерной визуализации информации [2, С. 17].

Область эргономики - это любая область жизнедеятельности, где необходимо учитывать особенности человека - психические, физические, психофизиологические и др. Учет человеческого фактора неизбежная составляющая успешного развития в современном мире. То есть, где присутствует человеческий фактор, там эргономика и является гарантом эффективности систем человек-машина. Одна из основных прикладных задач этой науки - создание и визуализация адекватных информационных моделей процессов и систем в интересах операторской деятельности. Операторская деятельность, визуализация информации - все это неразрывные элементы единой системы, и зрение здесь является системообразующим фактором [2, С. 23]. В связи с этим, не удивительно, что вопросы, связанные с исследованием свойств зрительной системы, процессов зрительного восприятия привлекают внимание эргономики.

Поведение человека регламентируется во многом воспринимаемой информацией. Зрительная система человека обладает свойством стереоскопического восприятия этой информации. Большинство же информа-

ционных моделей, создаваемых человеком, имеют два измерения: фотографии, произведения живописи, кинофильмы, различные информационные табло и т. д. Это обедняет наше восприятие, ведь человек до 85% информации о внешнем мире получает через функцию зрения. Современный уровень развития науки и техники позволяет перейти на более высокий уровень виртуального моделирования.

Создание 3D технологий и технических средств должно базироваться на глубоком изучении свойств и особенностей зрительной системы человека. 3D технологии относятся к области зрительных иллюзий (в части изображения объема и глубины пространства). Эта область мало изучена, как мало изучено само зрение. Важно в этом процессе не нанести зрению вреда. Отсюда и интерес эргономики к системе зрения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Венда В. Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. М., 1975.
- [2] Введение в эргономику/Под ред. В. П. Зинченко. М., 1974.
- [3] Любимов Б.О., Никитский Ю.И. Вопросы построения цифровых систем отображения информации. – Проблемы информатизации, 1995.
- [4] Sanju Khatri. Disappointing EMEA Sales Inhibit Signage Growth. – Signage and Professional Displays – Q3, 2007.
- [5] Смоляров А.М. Системы отображения информации и инженерная психология. - М.: Высш. шк., 1982.

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТУРОВ АДАПТАЦИИ В ДИНАМИЧЕСКИХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

К.А. Пупков, *д.т.н., профессор*,

Г.А. Шахназаров, *доцент*

МГТУ имени Н.Э. Баумана

2ая Бауманская ул, 5, Москва, Россия, 105005

Предлагаются и исследуются принципы организации контуров адаптации в динамических человеко–машинных системах управления, функционирующих в условиях динамических структурно– параметрических неопределенностей модели объекта управления.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, человеко–машинные системы управления, адаптация.

В практике проектирования систем управления особое место занимают динамические человеко-машинные системы управления, то есть системы, в состав контура управления которых управляющим динамическим звеном входит человек-оператор.

Рассмотрим основные общие принципы организации динамических человеко–машинных систем управления, а также выявим особенности динамических свойств человека–оператора, оказывающие наиболее существенное влияние на динамические свойства всего замкнутого человеко–машинного контура управления в целом.

Блок-схема, отражающая обобщенную структуру динамической человеко–машинной системы управления, представлена на рисунке 1 .



Рис. 1. Блок–схема человеко–машинной системы управления .

Благодаря собственному естественному интеллекту, человек-оператор способен, на основе предъявляемой ему визуальной или иной измерительной информации, оперативно оценивать текущую ситуацию и генерировать командные сигналы на исполнительную и другие подсистемы человеко-машинной системы управления .

Однако, в реальных условиях, системы управления, в том числе человеко-машинные системы управления, функционируют в условиях влияния различных источников неопределенностей. К основным из них можно отнести динамические неопределенности, обусловленные неопределенным характером динамических свойств объектов управления вследствие нестационарности или структурно-параметрической неопределенности их моделей, что может привести к существенным отклонениям фактических динамических свойств системы управления от расчетных, полученных при ее проектировании и исследовании, а в ряде случаев к потере свойств ее динамической устойчивости .

Для компенсации влияния неопределенностей динамического характера и обеспечения необходимого качества и надежности функционирования систем управления предлагается дополнять человеко–машинные системы контурами адаптации .

Исследуем особенности динамических свойств человека–оператора, оказывающие наиболее существенное влияние на динамические свойства всего замкнутого человеко–машинного контура управления в целом.

Отличительной особенностью динамических человеко–машинных систем управления является то, что их динамические свойства, в том

числе свойства динамической устойчивости, в существенной мере зависят не только от динамических свойств объекта управления и функциональных элементов контура управления, но и от динамических характеристик человека–оператора.

Динамические характеристики человека–оператора, в свою очередь, зависят от многих факторов, в частности: от степени его тренированности, от психо–физиологического состояния, от динамических свойств объекта управления, от характеристик предъявляемого оператору визуального информационного сигнала и т.д. .

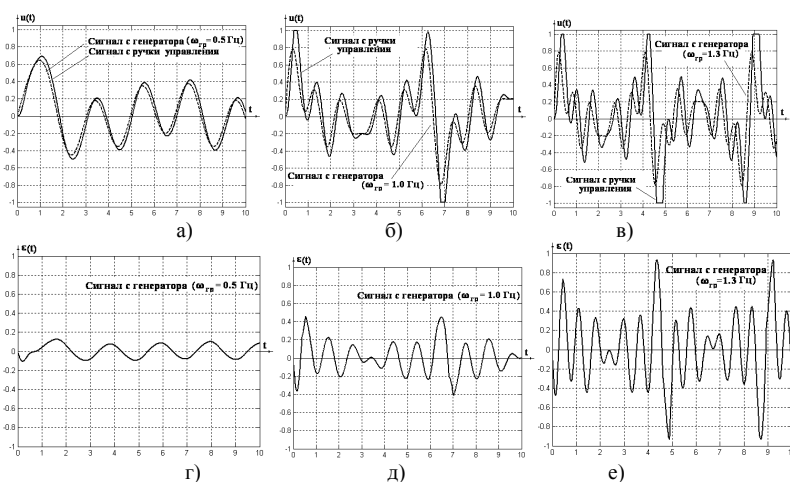


Рис. 2. Графики процессов при исследовании динамических свойств человека-оператора .

Результаты исследований показывают, что динамические характеристики человека–оператора таковы, что помимо вносимого оператором в динамику системы эквивалентного запаздывания, его характеристики зависят, в частности, от спектрального состава предъявляемого ему динамически изменяющегося визуального информационного сигнала.

Некоторые результаты исследования динамических особенностей человека–оператора при работе в динамическом режиме представлены на рисунке 2. На рисунках 2а, 2б, 2в представлены графики изменения предъявляемых оператору информационных сигналов с различным спектральным составом и сигналов с органов ручного управления, а на рисунках 2г, 2д, 2е представлены графики изменения ошибок слежения за информационным сигналом оператором, работающим в следящем режиме.

Из представленных выше графиков следует, что динамические свойства оператора – нелинейны и оператор может обеспечить высокое каче-

ство динамического управления только в том случае, если спектральный состав наблюдаемого информационного сигнала такой, что его граничная частота не превышает значение $\omega_{ГР} = 0.5 - 0.8 Гц$.

Таким образом, динамические свойства всей системы управления могут оказаться неудовлетворительными вследствие изменений динамических свойств объекта управления, либо вследствие изменений в процессе управления спектрального состава наблюдаемого оператором информационного сигнала.

В качестве иллюстративного примера на рисунках 3 представлены переходные процессы в неадаптивной динамической человеко–машинной системе с релейным управлением, динамическая неустойчивость которой обусловлена нестационарностью, связанной с изменением во времени коэффициента передачи канала визуализации информации.

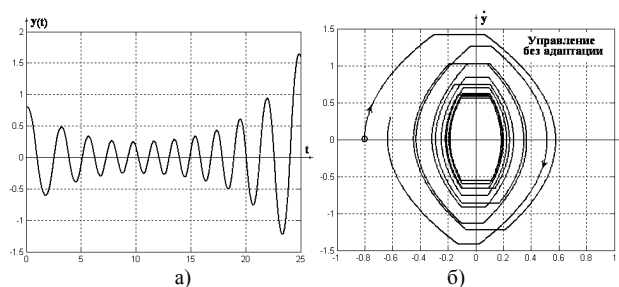


Рис.3. Переходные процессы в неустойчивой системе управления.

На рисунке 3а представлен график переходного процесса на выходе системы в режиме стабилизации выходной регулируемой переменной, а на рисунке 3б фазовые траектории системы.

Рассмотрим возможные принципы организации контуров адаптации с учетом особенностей организации динамических человеко–машинных систем управления.

Реализация принципов адаптации в автоматических системах управления предполагает изменение значений параметров–настроек адаптивного регулятора основного контура управления, что приводит к целенаправленному изменению динамических свойств всего замкнутого контура управления так, чтобы система сохраняла свойства динамической устойчивости и качества управления в условиях существенных изменений динамических свойств объекта управления.

В динамических человеко–машинных системах управления командные сигналы управления генерируются непосредственно оператором, поэтому изменение динамических свойств контура управления возможно только либо путем изменения параметров прямой цепи (канала управле-

ния), либо параметров цепи обратной связи (канала визуализации информации).

Блок-схемы, иллюстрирующие возможные принципы организации контуров самонастройки в динамических человеко-машинных системах управления представлены на рисунках 4а и 4б.

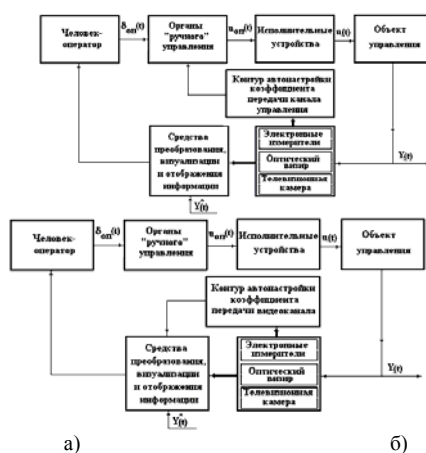


Рис. 4. Возможные принципы организации контуров самонастройки.

Одной из основных проблем при организации контуров адаптации в динамических человеко-машинных системах управления является определение принципов формирования сигналов автоподстройки параметров контура управления.

Возможны следующие подходы к формированию сигналов управления автоподстройкой параметров контура управления:

- подход, основанный на решении задачи оценивания в реальном времени значений параметров модели объекта управления;
- подход, основанный на оценивании параметров модели канала визуализации информации;
- подход, основанный на оценивании спектрального состава предъявляемого оператору информационного сигнала;
- другие подходы.

Подход, основанный на решении задачи оценивания в реальном времени значений параметров модели объекта управления предполагает использование высокопроизводительных вычислительных средств.

На рисунках 5а и 5б представлены графики переходного процесса и фазовых траекторий на выходе устойчивой адаптивной человеко-машинной системы управления с адаптацией на основе результатов оценивания параметров канала визуализации информации.

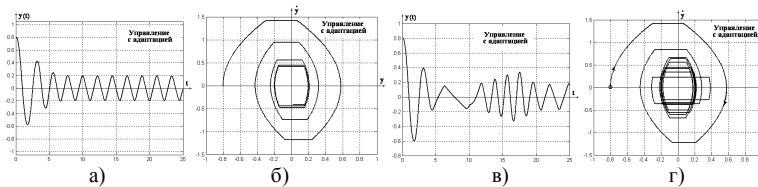


Рис. 5. Переходные процессы в адаптивной системе управления..

Специфичным для динамических человеко–машинных систем управления является подход к организации контуров адаптации на основе результатов оценивания спектрального состава предъявляемого оператору информационного сигнала. На рисунках 5в и 5г представлены графики переходного процесса и фазовых траекторий, отражающих характер переходного процесса на выходе устойчивой адаптивной человеко–машинной системы управления с адаптацией по спектральному составу информационного сигнала.

Другим возможным принципом организации контуров адаптации в человеко–машинных системах управления является принцип, основанный на интеграции основного автоматического контура управления и контура адаптации с человеком–оператором в контуре.

Блок–схема динамической адаптивной человеко–машинной системы управления с эталонной моделью и человеком–оператором в контуре адаптации представлена на рисунке 6.



Рис. 6. Блок–схема динамической адаптивной человеко–машинной системы управления с человеком–оператором в контуре адаптации .

В качестве иллюстративного примера на рисунках 7 представлены переходные процессы в адаптивной динамической человеко–машинной системе с эталонной моделью и человеком–оператором в контуре адаптации .

На рисунке 7а представлены графики переходных процессов на выходе человеко–машинной системы управления без контура адаптации и переходные процессы на выходе эталонной модели при подаче на вход тестового воздействия единичного уровня.

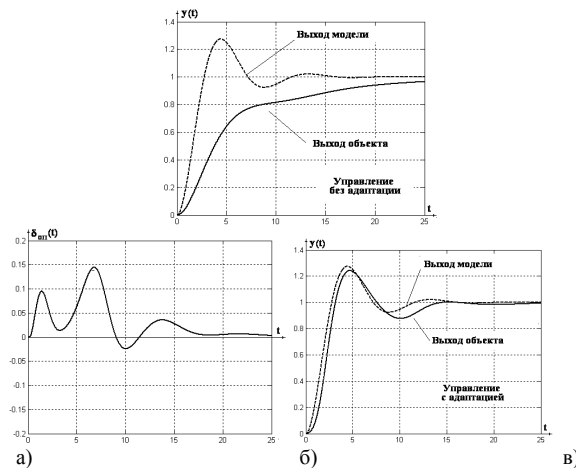


Рис. 7. Переходные процессы в адаптивной системе управления

Как следует из графика, при текущих значениях параметров модели объекта управления, замкнутая система без контура адаптации обладает неудовлетворительными динамическими свойствами и ее показатели динамического качества управления не соответствуют желаемым, соответствующим динамике эталонной модели.

На рисунке 7б представлен график, отражающий характер изменения сигнала с “ручки управления” оператора, который представляет собой сигнал адаптации.

На рисунке 7в представлены графики переходных процессов на выходе адаптивной человеко–машинной системы с человеком–оператором в контуре адаптации и на выходе эталонной модели.

Как следует из представленных выше результатов имитационного моделирования – адаптивная человеко–машинная система управления с человеком–оператором в контуре адаптации обеспечивает требуемое, желаемое качество управления при вероятных неопределенных изменениях в широком диапазоне динамических свойств объекта управления.

В результате проведенных исследований был сформирован и предложен ряд блок–схем, отражающих основные, возможные принципы организации контуров адаптации в адаптивных динамических человеко–машинных систем управления .

Проведенные методами имитационного моделирования исследования динамических особенностей адаптивных человеко–машинных систем управления подтвердили эффективность предложенных принципов организации контуров адаптации .

Работа выполнена по гранту РФФИ 15-08-00184.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Пупков К.А., Шахназаров Г.А. и др. Оценивание нелинейных моделей человека-оператора в сложных динамических человеко-машинных системах управления. Отчет РФФИ. Проект № 11-08-00334-а. НУК ИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
- [2]. Пупков К.А., Шахназаров Г.А., Устюжанин А.Д. Самоорганизующиеся интеллектуальные системы комбинированного управления. Труды XI Международного симпозиума "Интеллектуальные системы", РУДН, 2014.

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аль-Баред А.И. Яхья Сенан, аспирант

К.А. Пупков, д.т.н.

Кафедра кибернетики и мехатроники
ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрена задача синтеза системы управления динамическим объектом. Для решения задачи синтеза используется искусственная нейронная сеть. Критерием обучения нейронной сети является комплексная функция, учитывающая качество управления и точность выполнения терминальных условий. Для обучения нейронной сети используется метод вариационный генетический алгоритм. Приведено описание вариационного генетического алгоритма для обучения нейронной сети.

Ключевые слова: синтез системы управления, искусственная нейронная сеть, вариационный генетический алгоритм.

Рассмотрим задачу синтеза управления.

Задана модель объекта управления

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}), \quad (1)$$

где $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{x} = [x_1 \dots x_n]^T$, $\mathbf{u} \in U \subseteq \mathbb{R}^m$, $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_m]^T$, $m \leq n$, U - ограниченное замкнутое множество.

Задано множество начальных значений

$$X_0 = (\mathbf{x}^{0,1}, \dots, \mathbf{x}^{0,K}). \quad (2)$$

где $\mathbf{x}^{0,i} = [x_1^{0,i} \dots x_n^{0,i}]^T$, $i = \overline{1, K}$.

Заданы критерии управления:

- критерий качества управления

$$J_1 = \sum_{i=1}^K \left(\int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt \right)_{\mathbf{x}^{0,i}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

- критерий достижения цели управления

$$J_2 = \max_i \left\| (\varphi(\mathbf{x}(t_f)))_{\mathbf{x}^{0,i}} \right\| \rightarrow \min, \quad (4)$$

или

$$J_2 = \max_i \min_{t_f} \left\| (\varphi(\mathbf{x}(t_f)))_{\mathbf{x}^{0,i}} \right\| \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $\varphi(\mathbf{x}) = [\varphi_1(\mathbf{x}) \dots \varphi_r(\mathbf{x})]^T$ - заданная функция, $\|\varphi(\mathbf{x})\| = \sqrt{\sum_{j=1}^r \varphi_j^2(\mathbf{x})}$,

$t_f \in [0, t^+]$, t^+ - максимально допустимое время управления.

Необходимо найти управление в виде

$$\mathbf{u} = \mathbf{h}(\mathbf{x}), \quad (6)$$

где $\mathbf{h}(\mathbf{x}): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$, $\mathbf{h}(\mathbf{x}) \in U$.

Управление (6) должно обеспечивать достижение минимумов критериев (3)-(5). Искомая функция управления (6) реализует управление по принципу обратной связи. Структура системы управления приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура системы управления по обратной связи

Рассмотрим решение задачи синтеза управления (1)–(6) методом искусственных нейронных сетей [1].

Заменим искомую функцию (6) нейронной сетью

$$\mathbf{u} = \mathbf{g}^l(\mathbf{z}^l), \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{z}^l &= \mathbf{W}_l \mathbf{y}^{l-1}, \mathbf{y}^{l-1} = \mathbf{g}^{l-1}(\mathbf{z}^{l-1}), \\ &\dots \\ \mathbf{z}^3 &= \mathbf{W}_3 \mathbf{y}^2, \mathbf{y}^2 = \mathbf{g}^2(\mathbf{z}^2), \\ \mathbf{z}^2 &= \mathbf{W}_2 \mathbf{y}^1, \mathbf{y}^1 = \mathbf{g}^1(\mathbf{x}), \end{aligned}$$

l - число слоев в нейронной сети, \mathbf{W}_i - матрица весов размерности $m_i \times n_i$ на слое i , $\mathbf{W}_i = [w_{i,k,j}]$, $w_{i,k,j} \in \mathbb{R}^1$, $i = \overline{1, l}$, $k = \overline{1, m_i}$, $j = \overline{1, n_i}$, $\mathbf{y}^i = [y_1^i \dots y_{m_{i-1}}^i]^T$, $\mathbf{g}^i(\mathbf{z}^i) = [g_{i,1}(z_{i,1}) \dots g_{i,m_{i-1}}(z_{i,m_{i-1}})]^T$, $n_i = m_{i-1}$, $i = \overline{2, l-1}$, $n_1 = n$, $m_l = m$, $g_{i,j}(z_{i,j})$ - функция активации.

Основной проблемой решения задачи синтеза (1)-(6) методом нейронных сетей является большое количество слоев и, следовательно, настраиваемых параметров. Количество слоев определяется сложностью функционалов, описывающих критерии качества и моделью системы управления. Часто при решении задач управления оптимальное управление имеет не гладкую форму, поэтому в качестве функций активации нельзя использовать в обязательном порядке гладкие логистические функции, что существенно затрудняет при обучении применение алгоритма обратного распространения ошибки и дельта правила Видроу - Хоффа [2].

Для обучения нейронной сети используем вариационный генетический алгоритм [3].

Пусть \mathbf{W} матрица вещественных чисел размерностью $m \times n$. Представим матрицу \mathbf{W} в виде набора из n векторов

$$\mathbf{W} = (\mathbf{w}^1, \dots, \mathbf{w}^n), \quad (8)$$

Определим малые вариации вещественного вектора

$$\mathbf{w} = [w_1 \dots w_m]^T:$$

- 0 – отсутствие вариации;
- 1 – поворот вектора на малый угол;
- 2 – растяжение или сжатие вектора;
- 3 – смещение вектора.

Рассмотрим выполнение малых вариаций подробнее. Обозначим δ_i вариацию под номером i . Тогда

$$\tilde{\mathbf{w}} = \delta_i \circ \mathbf{w}, \tilde{\mathbf{w}} = [\tilde{w}_1 \dots \tilde{w}_m]^T. \quad (9)$$

Вариация δ_0 : $\tilde{\mathbf{w}} = \mathbf{w}$.

$$\begin{aligned} \text{Вариация } \delta_1: \quad & \tilde{w}_i = w_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad i \neq p, \quad i \neq r, \\ & \tilde{w}_p = w_p \cos(\Delta\alpha) - w_r \sin(\Delta\alpha), \quad \tilde{w}_r = w_p \sin(\Delta\alpha) + w_r \cos(\Delta\alpha), \\ & \|\tilde{\mathbf{w}}\|_2 = \|\mathbf{w}\|_2. \end{aligned}$$

$$\text{Вариация } \delta_2: \quad \tilde{w}_i = \Delta\beta w_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

$$\text{Вариация } \delta_3: \quad \tilde{w}_i = w_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad i \neq p, \quad \tilde{w}_p = w_p + \Delta\gamma.$$

Для выполнения вариаций необходимо располагать величинами приращений: $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$.

Определим приращения следующими соотношениями:

$$\Delta\alpha = (2\Delta - 1)\alpha_0, \quad \Delta\beta = (2\Delta - 1)\beta_0, \quad \Delta\gamma = (2\Delta - 1)\gamma_0, \quad (10)$$

где $\Delta \in [0; 1]$, α_0 , β_0 , γ_0 - заданные постоянные.

Для многих задач достаточно задать следующие значения постоянных: $\alpha_0 = \pi/2$, $\beta_0 = 2$, $\gamma_0 = 1$.

Для выполнения вариации δ_1 необходимо располагать целочисленными величинами p и q , $p, q \in \{1, \dots, m\}$.

Для выполнения вариации δ_3 необходимо располагать целочисленной величиной p , $p \in \{1, \dots, m\}$.

Для обучения нейронной сети методом вариационного генетического алгоритма для описания вариации достаточно использовать целочисленный вектор из пяти компонент

$$\mathbf{v} = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4 \ v_5]^T. \quad (11)$$

где v_1 - номер вариации, v_2 - номер слоя сети или номер матрицы, v_4 - номер столбца матрицы, v_4 - параметр p для вариаций δ_1 и δ_3 , v_5 - параметр q для вариаций и δ_1 .

Все генетические операции выполняем на наборах векторов вариаций (11) одинаковой длины

$$\mathbf{V} = (\mathbf{v}^1, \dots, \mathbf{v}^h). \quad (12)$$

Вместе с поиском оптимального набора векторов вариаций осуществляем поиск в циклах того же генетического алгоритма оптимальное значение параметра приращения $\Delta \in [0; 1]$. Приращение является одинаковым для всего набора векторов вариаций, но использование приращения для каждого вектора вариаций определяется номером вариации.

Вычислительные экспериментальные исследования показали эффективность данного алгоритма при обучении нейронной сети прямого действия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Галушкин А.И. Нейронные сети: - М.: Горячая линия- Телеком. – 2010. – 496 с.
- [2] Каллан Р. Нейронные сети. - М.: Издательский дом Вильямса. – 2003. – 288 с.
- [3] Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Вариационный генетический алгоритм для решения задачи оптимального управления // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-11474>.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

И.Т. Габдрахманова

В.Д. Федин

Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

Нефтеперекачивающая станция (НПС) является одним из главных элементов магистрального нефтепровода. Обращаясь к [1], себестоимость электроэнергии на транспортировки нефти составляет около 35%. Но иногда могут возникнуть нестационарные ситуации, вследствие чего процент потребления электроэнергии может возрасти. Чаще всего это возникает после плановых и неплановых остановок НПС, но в нефтегазовом производстве необходимо заранее учитывать малейшие отклонения от привычных показаний в том числе и незапланированного повышения показаний электроэнергии. Вот почему нами была взята данная актуальная проблема.

В процессе решения нами была составлена нейронная модель, с помощью нейронной сети. Нейронная сеть представляет собой математическую модель расчета различных показателей, позволяющую установить зависимость тех или иных результатов от заданных параметров (величин). Данный расчетный метод применяется в различных отраслях, от медико-биологических и инженерно-технических до финансовых, обеспечивая экономический и производственный эффект.

Цель работы: с помощью использования нейронной сети, получить данные о расходе электроэнергии после остановки нефтеперекачивающей станции.

Описание объекта: Объем электроэнергии, используемый при перекачке нефти зависит от целого ряда ее параметров (вязкость, плотность). Нейронная сеть позволяет построить модель электропотребления с уче-

том этих параметров, и прогнозировать дальнейшие энергозатраты нефтеперерабатывающего предприятия.

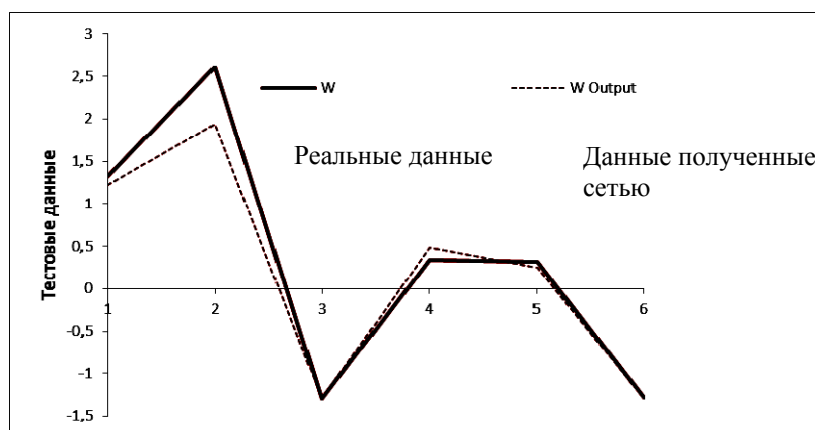
Для построения нейронной сети необходимы данные (заданные параметры) для ее «обучения», позволяющие сети самостоятельно подбирать нужные коэффициенты при входных исходных параметрах.

Материалы и методы: Использовались данные о ежедневном расходе электроэнергии на нефтеперекачивающем предприятии за 5 лет (с 2006-2010 гг.). В работе отбирались показатели электроэнергии после плановой или внеплановой остановки станции, которые вносились в модель нейронной сети по типу многослойного персептрона. В качестве программного обеспечения использовалась «Neural solution».

Постановка проблемы: На сегодняшний день основная проблема на нефтеперерабатывающих предприятиях, в частности на нефтеперекачивающих станциях, состоит в том что при запуске ее после остановок (плановых или неплановых) некоторое время оборудование потребляет большее количество электроэнергии, чем до остановки. Скачек расхода происходит из-за того что некоторое время оборудование приходит в свое нормальное функционирование.

Ход работы: В ходе данного исследования нами были тщательно отобраны достоверные данные с реальных предприятий, затем для удобства работы с данными нами так же была проведена их нормализация. В результате анализа данных мы нашли подтверждение тому что расход средний электропитания после остановок нефтеперекачивающих станций действительно больше чем до их остановок.

Но основной частью было создание рабочей модели нейронной сети, чтобы заранее знать какое будет значение потребления электроэнергии после остановок.



Как мы можем видеть нами была получена достаточно точная модель для использования прогнозов потреблений электроэнергии

Сложность построение нейронной сети:

Сложность построение модели нейронной сети для решения практических задач заключается в следующих условиях

- 1) тип нейронной сети
- 2) количество скрытых слоев
- 3) количество нейронов

Дело в том что каждый отдельный тип подходит для решения разных задач, но проблема в том что в настоящее время не существует четкой классификации задач ,то есть условий в конкретных задачах, по которым можно с точностью выбрать тот или иной тип сети.

Но на сегодняшний день особую популярность в сфере построение моделей нейронных сетей, приобрел тип многослойный персептрон благодаря своей универсальности в использовании.

В офисном пакете NeuralSolutions тип многослойный персептрон , сам выбирает оптимальное количество скрытых слоев и нейронов и именно поэтому мы использовали данный тип для решения нашей задачи.

Решение проблемы:

В результате данной работы можно использовать данную рабочую модель чтобы подобрать жидкости перекачиваемы на данных станция с параметрами которые будут выдавать минимальный расход электроэнергии.

Результаты:

В результате «обучения и тестирования» нейронной сети была получена рабочая модель прогнозирования расхода электроэнергии на нефтеперегонном предприятии. Это имеет важное экономическое значение, так как запуск станции после остановки сопровождается значительно большим потреблением электроэнергии, часть которого идет на «разгон» оборудования.

Нейронная сеть имеет важное практическое значение для моделирования и прогнозирования расхода электроэнергии на нефтеперерабатывающих предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Регламент разработки технологических карт, расчета режимов работы магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть», Москва 2008.

ФОРМИРОВАНИЕ МНЕНИЯ КОЛЛЕКТИВА КАК МНОЖЕСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ

К.А. Пупков¹
Ф. Ибрагим²

1- Кафедра систем автоматического управления
МГТУ им. Н.Э. Баумана
ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия, 105005
2- Аспирант кафедры Кибернетики и Мехатроники
РУДН
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В настоящей работе принята попытка учесть особенности участников голосования при формировании и направлении мнения коллектива в виде аналитического выражения, приблизительно описывающего сам процесс голосования. Ценность данного приближения проверялась на ряде примеров путем моделирования на компьютере.

Ключевые слова: голосование, мнение коллектива, множество автоматов, биномиальное распределение.

Нам в жизни часто приходится принимать решения в самых различных ситуациях. То, что происходит вокруг нас идет в соответствии с конкретной системой, которая на первый взгляд может показаться случайной, но на самом деле в большинстве случаев представляет собой математически дисциплинированный порядок, который подчиняется определенным закономерностям [1]. Принимаемые нами решения зависят от многих факторов: взаимодействия с окружающими людьми, степени их влияния на нас, природных явлений, которые мы видим, возникающие при взаимодействии элементов в системе S при определенных обстоятельствах и при определенных условиях. Это взаимодействие является обменом информации или наличием взаимодействия между частями системы S и наличием процесса, приводящего к некоторому равновесному состоянию. Понимание этих явлений может помочь решить многие задачи технического, биологического и социологического характера.

Метод решения задачи и результаты решения. Для решения поставленных задач нами использовалось два метода:

1) аналитическое описание мнения коллектива.

2) формулировка уравнения “мнение коллектива”.

Процесс развития и трансформации взаимоотношений среды и общества требует использования более сложных технологий. В рамках данного исследования мы будем рассматривать простую модель про-

цесса формирования «мнения коллектива» после поступления в коллектив определенной «начальной» информации [2].

Стоит отметить, что данное «мнение» формируется в результате обмена информацией внутри некоторого множества автоматов [3] [4], которые обладают, в определенном смысле, целесообразным поведением. Предполагается, что в течение ряда последовательных тактов весь коллектив автоматов разбивается на группы и такой обмен информацией протекает независимо в каждой из групп. Рассмотрим случай, когда каждый член коллектива представляет собой простейший автомат. Определим несколько величин, которые рассматриваются как основные в нашем исследовании, определяющем механизм передачи информации в каждой группе из нашего коллектива [5].

Пусть φ — выходная величина, которая может принимать одно из двух значений 0 или 1 (голосующий автомат). Поведение автомата во времени задается уравнением:

$$\varphi(t+1) = F(\varphi(t), \varepsilon(t), \zeta(t)) \quad t = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$\varepsilon(t)$ — входная переменная, которая принимает два значения: или 1;

$\zeta(t)$ — входная переменная, случайная, также принимающая два значения

ε - ошибка при голосовании

F — функция операции передачи информации каждой группе нашего коллектива

Предполагается, что функция F задана следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} F(\varphi(t), 1, 0) = F(\varphi(t), 0, 1) = \varphi(t) \\ F(\varphi(t), 1, 1) = 1 - F(\varphi(t), 0, 0) = 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

с вероятностью $(1 - \varepsilon)$.

Это значит, что если у нас передача информации каждой группе «голосование» идёт по большинству, то голосующий меняет свое мнение в зависимости от его соседа в группе. При совпадении взглядов человек не меняет своего мнения и оно остается неизменным с процентом ε . В случае, если у соседа мнение отличается, тогда передача информации «голосование» не идёт, и его мнение не меняется, но с процентом ε .

Будем рассматривать коллектив из n таких автоматов. Мы будем считать также, что в каждый момент времени автоматы разбиваются на группы. В каждой группе 3 автомата. Будем рассматривать случай, когда «голосует» лишь один случайно выбранный автомат из трёх автоматов в каждой группе. Предположим также, что величина ε для всех автоматов одна и та же.

Рассмотрим функцию — долю автоматов, находящихся в момент времени t в состоянии

$\mu(t)$ – описывает процент наших автоматов, имеющих мнение 1, при котором $0 \leq \mu(t) \leq 1$, Φ – функция, которая считает долю всех автоматов, находящихся в момент времени t

2. Вывод уравнения “мнение коллектива”:

Пусть у нас коллектив из n автоматов в каждый момент времени t случайным образом разбивается на группы из K автоматов и в каждой группе «голосует» один случайно выбранный автомат. Пусть в начальный момент времени $t = 0$ доля автоматов, находящихся в состоянии 1, задана и равна $\mu(0) = \mu_0$. Вычислим среднее значение доли автоматов $\mu(1)$, находящихся в состоянии 1 в следующий момент времени.

Заметим, что после разбиения на группы вероятность того, что данная группа из k автоматов содержит ровно s автоматов в состоянии 1, имеет биномиальное распределение, которое задается уравнением $C_k^s \mu_0^s (1 - \mu_0)^{k-s}$ (в каждой группе) [6] [7]. Теперь случайно выбирая «голосующий» автомат и производя выбор мнения «по большинству», получаем для всех элементов коллектива в один момент времени $\Phi(\mu_0)$, следующее выражение:

уравнение (3) - приближенное уравнение, описывающее процесс в следующий момент времени $(t+1)$.

В нашей ситуации можно получить приближенное уравнение, описывающее процесс нашего голосования в каждой группе, состоящей из 3 элементов с помощью уравнения (3) при $k = 3$

$$\begin{aligned} (1 - \varepsilon) \sum_{s=0, k/2} C_k^s \mu_0^s (1 - \mu_0)^{k-s} \left(1 - \frac{s}{k}\right) &= (1 - \varepsilon)(\mu_0^3 - \mu_0^2) \\ (1 - \varepsilon) \sum_{s=0, k/2} C_k^s \mu_0^s (1 - \mu_0)^{k-s} \left(\frac{s}{k}\right) &= (1 - \varepsilon)(\mu_0 - 2\mu_0^2 + \mu_0^3) \\ \varepsilon \sum_{s=0, k/2} C_k^s \mu_0^s (1 - \mu_0)^{k-s} \left(\frac{s}{k}\right) &= \varepsilon(2\mu_0^2 - \mu_0^3) . \\ \Rightarrow \mu(t + 1) &= -\frac{\varepsilon}{3}(1 - 2\varepsilon)\mu^2(t) + (1 - 2\varepsilon)\mu^2(t) + \frac{\varepsilon}{3}\mu(t) + \end{aligned} \quad (3)$$

Это уравнение называется аналитическим уравнением модели мнения коллектива.

Чтобы узнать как изменится наша функция $\mu(t)$ нам надо изучить монотонность функции.

$$\begin{aligned} \Psi(t) &= \mu(t + 1) - \mu(t) \\ \Psi(t) &= -\frac{\varepsilon}{3}(1 - 2\varepsilon)\mu^2(t) + (1 - 2\varepsilon)\mu^2(t) - \frac{\varepsilon}{3}\mu(t) + \frac{\varepsilon}{3} \end{aligned} \quad (4)$$

При аналитическом исследовании, у нас при $\varepsilon < 1/6$ имеется три стационарные точки;

$$\mu_{\varepsilon} = \frac{1}{2}, \quad \mu_{0,\varepsilon} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1-6\varepsilon}{1-2\varepsilon}},$$

при $\varepsilon < 1/6$ точки μ_{ε} и $\mu_{0,\varepsilon}$ являются устойчивыми, причем область устойчивости корня μ_{ε} есть $[0, 1/2)$, а область устойчивости корня $\mu_{0,\varepsilon}$ есть $(1/2, 1]$.

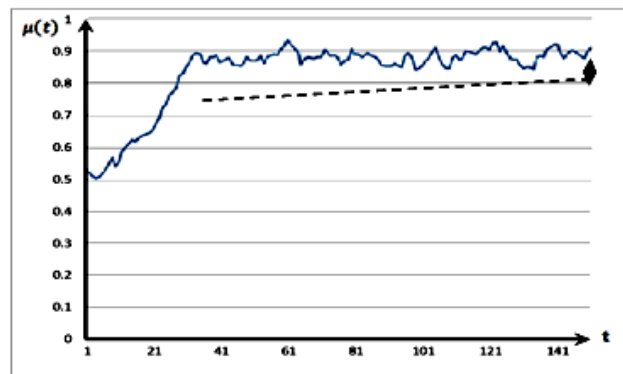
Чтобы знать в какой области $\Psi(t)$ убывает или возрастает нам необходимо знать, как изменяется знак $\Psi(\varepsilon)$ в интервалах

Предлагаем пример: Пусть в нашем процессе коллектив $n = 300$ автоматов, $\mu(0) = 52,67\%$ (доля автоматов, находящихся в состоянии 1 в начальный момент времени). При расчете величины $\mu(t)$ использовалось выражение (3) и в результате этого расчета график подходит к максимальному значению стационарной точки $\mu_{\varepsilon} = 1$.

Здесь также видно, что чем больше ε , тем шире интервал между графиком и максимальным значением стационарной точки $(1, t)$, как на рис. 1 и рис. 2.

На рис.1 и рис.2 у нас $n = 300$ автоматов и $\mu_n = 52,67$, и голосование (t) идет 150 раз, но начальное условие ε (ошибка при голосовании) на рис.1 $= 0,1$ и на рис.2 $\varepsilon = 0,05$.

N	T	ε	μ_0	n
150	150	0,1	52,67	300



Рис(1)

N	t	ε	μ_0	n
150	150	0,05	52,67	300

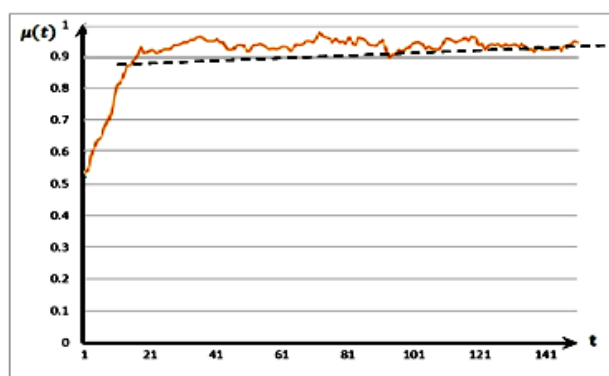


Рис (2)

На графиках видно как действует начальное условие на скорость, и движение графика к стационарному значению $\mu(t)$, чем меньше ε , тем быстрее скорость движения и тем ближе график к стационарному значению и наоборот, чем больше ε , тем медленнее скорость движения и тем дальше график от стационарного значения.

Из сказанного видно, что обмен информацией между частями системы S зависит от начального условия, которое играет основную роль в результате нашего голосования, и это доказано при моделировании нашей задачи на компьютере.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Edward Ott, Chaos in dynamical systems, University of Maryland, College Park, Maryland, USA 1993. __ p. 1__ 22.
- [2] Elaydi, Saber N. (1999). Discrete Chaos. Chapman & Hall/CRC. p. 117.
- [3] Лекции по Теории Автоматов. Лектор: доцент кафедры ЭВМ РГРТУ Иона Н.И.
- [4] <http://teorya.hut.ru>
- [5] Стефанюк В. Л. Локальная организация интеллектуальных систем. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. С.76__79.
- [6] [ru.wikipedia.org/wiki/ Биномиальное_распределение](http://ru.wikipedia.org/wiki/Биномиальное_распределение).
- [7] Боровков, А. А. «Теория вероятностей», М.: Наука, 1986.

Секция – 4 Архитектура и градостроительство

ВЫБОР ИННОВАЦИОННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИПЛОМАТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.Д. Разин, к. арх.

Кафедра архитектуры и градостроительства
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Приводятся результаты анализа некоторых характеристик по каждой группе инженерных систем (конструктивной, инженерной и электронной). Предлагается осуществлять выбор инновационных инженерных решений по материально-техническим параметрам данных систем.

Ключевые слова: инновационное решение, безопасность, инженерные системы.

При проектировании современных дипломатических объектов важное значение придается инженерным решениям различных частей проектируемого объекта. Это связано, прежде всего, с обеспечением надежности и безопасности всех инженерных систем дипломатических объектов.

Инженерные системы дипломатических объектов включают в себя три главные составляющие: конструктивные системы зданий и сооружений, инженерное оборудование и коммуникации, электронные системы и телекоммуникации. [1]

Конструктивные системы обеспечивают статическую неизменяемость, прочность и надежность зданий и сооружений дипломатических объектов.

Инженерное оборудование и коммуникации обеспечивают комфортные условия проживания и обслуживания дипломатического персонала, в частности в экстремальных климатических условиях ряда стран Азии, Африки и Латинской Америки.

Электронные системы и телекоммуникации обеспечивают контроль и слежение за объектами, постоянную связь с внешними и внутренними объектами различными мультимедийными средствами.

Выбор инновационных инженерных решений по наиболее важным группам инженерных систем проходит на основе анализа универсальных

составляющих факторов и условий и по частным составляющим, характерным для каждой отдельной из трех выделенных групп инженерных систем. Анализ общих факторов и условий предлагается осуществлять следующим образом: анализ существующего архитектурного опыта проектирования, строительства и эксплуатации дипломатических объектов, анализ конструктивных и материальных технических характеристик инженерных систем дипломатических объектов, оценка производственно-технологических и экономических характеристик инженерных систем.

Анализ частных составляющих характеристик по каждой отдельной группе инженерных систем (конструктивной, инженерной и электронной) влияет на выбор инновационных проектных решений исключительно по материально-техническим свойствам, характеристикам и условиям. В этом случае выбор инновационного решения обусловлен сравнением и выбором инженерной системы или ее частей с лучшими характеристиками по определенным критериям.

Если по частным составляющим инженерных систем возможно определить однозначное инновационное решение, то по универсальным общим составляющим требуется многовариантное моделирование с последующей оценкой результатов по выделенным критериям. На основе модели с лучшими показателями осуществляется многовариантное проектирование и окончательный выбор лучшего проекта.

Стадия многовариантного моделирования необходима для существенного уменьшения на несколько порядков стадий многовариантного проектирования. Данные методы должны существенно сократить время на проектирование и создать эффективные методы для выбора инновационных решений. Последовательность и количество этапов при выборе инженерных решений при проектировании дипломатических объектов зависит от величины объекта

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Разин А.Д. Проблемы поиска инновационных решений при конструктивных расчетах зданий и сооружений дипломатических комплексов. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. №2. 2015. С.58-60

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МУЗЕЕВ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Д.А. Чистяков

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Статья посвящена истории становления и развития музеев науки и техники в России и за рубежом.

Ключевые слова: музей, техника, наука, история.

Постоянный рост производства товаров и услуг, возрастание технического могущества человека становится целью общественного развития. Как следствие, возникает потребность в сохранении и демонстрации особо выдающихся достижений в области производства высокотехнологичных бытовых изделий. Учреждениями, занимающимися собиранием, изучением и хранением памятников материальной культуры становятся музеи науки и техники. Первые музеи, посвященные истории науки или ее отдельных отраслей, взаимосвязям науки с техникой, природой и человеком появляются в девятнадцатом веке.

Первым в истории научно-техническим музеем можно считать Французский национальный музей техники в Париже (консерватория искусств и ремесел), созданный декретом Конвента 10 октября 1794 г. по предложению Генри Грегуара. Грегуар воплотил в жизнь замысел Р. Декарта, который требовал сохранения "машин" и демонстрации их в действии для познавательных целей. Данный Конвент постановил основать в Париже "публичный" депозитарий творений и ремесел, "свободный для всех типов изобретений". В этом депозитарии, в соответствии с решением Конвента, должны были находиться машины, модели, инструменты, чертежи, книги, а также другие материалы, отражающие изобретения и усовершенствования из всех областей техники и ремесел. Декрет также требовал, чтобы посетителям депозитария давались объяснения конструкций и принципов действия выставленных экспонатов. Депозитарий был расположен в здании монастыря Святого Мартина, где музей находится и сейчас.

На период возникновения крупной промышленности (вторая половина XIX века) пришлось начало роста сети железных дорог, обострения промышленной конкуренции между европейскими странами и широкой музеефикации техники.

В ряду европейских стран во второй половине XIX века прошла волна международных и национальных индустриальных выставок. Они вдохновили на идеи создания национальных технических музеев, которые должны были укрепить как национальное самосознание, так и социаль-

ный статус инженеров и инженерной деятельности. Такие идеи вынашивались в среде инженеров, ученых, изобретателей, были поддержаны промышленниками и нашли себе покровительство у высших руководителей государства. Так возникли Музей науки и техники в Лондоне (сформировавшийся в самостоятельное учреждение в 1910 году, несмотря на то, что начало ему было положено после выставки 1851 года), Московский политехнический музей (созданный на базе политехнической выставки 1872 года), Немецкий музей науки в Мюнхене (1903 год) и т.д.

В состав этих музеев в соответствии с их профилем входили (и входят сейчас) обширные библиотеки, сохраняющие печатные издания различного характера, лаборатории, в которых проводятся научные демонстрации, лекционные аудитории и другие помещения.

Как показывает практика, уже на начальном этапе развития музеев технического профиля обнаруживается их принципиальное отличие от музеев другого вида, связанное с особенностью техники, а именно с ее функциональностью. Так, экспонирование техники связано с необходимостью демонстрации ее в действии, показа и разъяснения ее устройства, принципов работы.

Музеи науки и техники стали пополнять специальными экспонатами, спроектированными для демонстрации внутреннего устройства средств техники и принципов их функционирования, а также экспонатами, предназначенными для того, чтобы посетители сами воздействовали на них и по реакции экспоната на такое воздействие постигать законы науки, устройство и принципы работы техники. Такое направление деятельности технических музеев последовательно развивала идея их создания — содействовать просвещению и техническому образованию.

Отдельные предметы, документировавшие развитие науки и техники, входили в состав первых частных коллекций, сформировавшихся в России в 18 в. (Петра I, Я. Брюса, Д. М. Голицына), а также были представлены в Петербургской Кунсткамере, Эрмитаже, в модель-камере Вольного экономического общества. Специализированные музеи открывались при ведомствах: Модель-камера и Рудный кабинет при Берг-Коллегии, Музей истории оружия при Тульском оружейном заводе.

В начале 19 века появилось несколько проектов национального технического музея (1811, 1817, 1821, 1829), которые так и не смогли воплотиться. В 1823 году в Барнауле был открыт музей (к 100-летию горной промышленности на Алтае), главная цель которого заключалась в показе технических достижений механиков на местных заводах. Основное внимание уделялось в экспозиции моделям машин, заводов и рудников. Коллекции предметов техники формировались преимущественно при музеях учебных заведений и отдельных производств. Предметы, экспонировавшиеся на художественно-промышленных выставках, проводившихся

сначала в Москве и Петербурге, а затем и в губернских городах, попадали в музеи.

В 1872 г. в Петербурге был открыт музей Прикладных знаний, в Москве - Политехнический музей, один из крупнейших музеев науки и техники в мире. С конца 1870-х гг. он становится ведущим образовательным центром России, где для широкой публики читали лекции крупнейшие учёные (Д.И. Менделеев, К.А. Тимирязев, А.Н. Бекетов и др.). Лекции и экскурсии сопровождались показом опытов и экспериментов. В лабораториях музея, оснащённых современным оборудованием, проводились научные исследования и совершались мировые открытия ("свеча Яблочкова"). Деятельность Политехнического музея в сфере просвещения населения показывает общую просветительскую тенденцию, характерную для музеев России со 2-й полу 19 в.

Русское техническое общество организовало музеи во всех провинциальных отделениях и Подвижной музей наглядных пособий в Петербурге. Задачей технических музеев в 19 в. была пропаганда новейших достижений.

В конце 19-начале 20 века, когда история науки и техники выделяется в отдельную область знания, появляются проекты музея истории техники, частично осуществившиеся лишь в конце 1920-х -начале 1930-х годов. В музее истории науки и техники при Институте истории науки и техники АН СССР, существовавшем в Ленинграде (1931-36) и сосредоточившем благодаря целенаправленной собирательской работе крупную коллекцию предметов техники, главной задачей был показ идей, а не вещей. Заслуживает внимания попытка создания в начале 1930-х годов в Москве Дворца техники, проект экспозиции которой разрабатывали крупные историки науки и техники. Эти проекты не смогли реализоваться из-за "излишнего историзма", удивившего, по-мнению противников такого подхода, от решения актуальных проблем современности. Индустриализация страны, требовавшая внедрения технических новшеств в различных сферах производства, повлекла за собой создание технических музеев как вспомогательных средств государственного строительства (на новостройках, промышленных предприятиях). Многие из них были впоследствии закрыты.

С 1960-х годы возникают музеи космонавтики и авиации, включающие в себя как музеи истории космонавтики, так и мемориальные музеи, посвященные космонавтам и выдающимся ученым в этой области.

В 1980-е годы в связи с осознанием необходимости музеефикации памятников науки и техники появляются первые музеефицированные объекты.

Музейное здание — не просто оболочка учреждения, это его лицо, которое отражает индивидуальные особенности, отличает от многих других

подобных учреждений; с него начинается контакт посетителя с музеем, оно само по себе является важнейшим экспонатом, особенно в таком музее, как музей науки и техники.

Одна из тенденций строительства современных музеев – их реконструкция в соответствии с требованиями современности, новая жизнь старого музея.

Сегодня большинство зданий мировых музеев реконструируется, функционально изменяется. Это связано с преобразованием их в некие «центры отдыха» с целью привлечения посетителей и для увеличения площади экспозиций. Реконструкция музейных зданий – процесс, требующий от архитектора особых знаний, разностороннего подхода и художнического такта.

Таким образом, деятельность современного музея нашла отражение в музейном строительстве. Спроектировать музей – сложная задача для архитектора. Яркое архитектурное решение может привлечь туристические потоки, но в то же время значительно усложнить реализацию музейной деятельности, например, экспозиционной. Идеальный проект музейного здания отвечает требованиям как внешним – оригинальность, неповторимость, инновационность облика, так и внутренним – функциональность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чугунова А. В. Музейная архитектура в контексте современной культуры // Вопросы музеологии. – 2010. – № 1. – С. 34-43.
- [2] Сотникова С. И. Музеология. Учебное пособие М., Дрофа, 2004., 190с.
- [3] Юренева, Т. Ю. Музееведение. Учебник для высшей школы. М. - Академический проект, 2006 г. - 560 с.
- [4] Романычева И.Г. Музейное дело: Учебное пособие. Л.,1983.
- [5] Ревякин В.И. Закономерности формирования архитектуры музейных зданий: Дисс. . д-ра арх-ры. М., 1994.

Секция – 5 Строительные конструкции и сооружения

ОБ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМОГО В РЕСПУБЛИКЕ БУРУНДИ

Э. Микерого, аспирант

Кафедра строительных конструкции и сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Описывается особенности каркасной системы со связующими кирпичными стенами, применяемые при проектировании и возведении высотных зданий в республике Бурунди. Разлагается концепция совместная реакция каркасной системы со связывающими кирпичными стенами. Дается оценка о конечной стоимости такого конструктивного решения.

Ключевые слова: каркасная система, кирпичные стены, совместная работа, несущая способность, разгрузочный эффект, загрузочный эффект, конечная стоимость.

За последнее время в республике Бурунди наблюдается ускоренный темп возведения этажных «высотных» жилых и административных зданий особенно в г. Бужумбура, столица Бурунди. Традиционно каркасной системой является распространенное конструктивное решение, принимаемое при проектировании и возведении этажных зданий. Как правило, их несущие элементы, связанные между собой кирпичными стенами на цементном или грунтовом растворе. Далее такие стены обозначаются как связывающие кирпичные стены.

На практике связывающие кирпичные стены возводятся перед возведением несущих колонн каркасной системы. После них возводятся несущие колонны, а затем над ними возводятся балочные перекрытия. Благодаря связывающим кирпичным стенам несущие элементы каркасной системы соединяются в «определенную» единую замкнутую систему.

Тут возникает вопрос, насколько можно утверждать, что данная система является каркасной. Видимо что связывающие кирпичные стены берут на себя определенную часть воздействующих нагрузок. С большой уверенностью можно сказать, что связывающие кирпичные стены в каркасных системах играют определенную роль «несущих элементов» в пределах своих несущих способностей, до наступления стадии нелиней-

ных деформации. Имеющиеся результаты лабораторных исследований свидетельствуют, что связывающие кирпичные стены играют роль вертикальных диафрагм при сейсмических воздействиях.

Судя (на основе собственного опыта) по практике проектирования высотных зданий в Бурунди по конструктивному решению каркасной системы со «связывающими» кирпичными стенами проектировщики не учитывают несущих способностей связывающих стен. В частую игнорируется существования таких стен в общей схемы передачи нагрузок. Таким образом, игнорируется совместная работа железобетонных элементов с кирпичными стенами.

Участие связывающих кирпичных стен в совместной реакции каркасной системы на воздействующие нагрузки создает «разгрузочный эффект», понижающий внутренние усилия в сечениях железобетонных колоннах и балках каркасной системы. То есть определенную часть не «использованную» несущую способность железобетонных элементов остается в «не нужном» резерве.

Очевидно, что для проектирования зданий по каркасной системе со связывающими кирпичными стенами следует разработать иной подход, учитывающий совместной работы. Например, исследуя напряженно-деформированное состояния каркасной системы со связывающими кирпичными стенами с учетом (например) несущих способностей выраженных (предельными усилиями в сечениях несущих элементов) известными формулами (1), (2), (3), соответственно для железобетонных балок, колонн и кирпичных стен.

$$M_{\text{усилие балка}} \leq M_{\text{ult}} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x)$$

$$N_{\text{усилие колонна}} \leq N_{\text{ult}} = \varphi \cdot (R_b \cdot A + R_{sc} \cdot A_s)$$

$$N_{\text{нагрузка стена}} \leq N_{\text{ult}} = m \cdot \varphi \cdot R \cdot A$$

Преимущества конструктивного решения по каркасной системы с учетом несущей способности связывающими кирпичными стенами можно найти в последующим основными идеями. Во первых учет несущих способностей связывающих кирпичных стен, приведет к снижению внутренних усилий в железобетонных элементах, что сказывается и количество материальных затрат. Во вторых при проектировании и возведении каркасной системы со связывающими кирпичными стенами намного снижается время, утрачиваемые на опалубочные работы на колонные и балочные элементы. Такая каркасная система со связывающими кирпичными стенами предположительно экономически отражается на себестоимости возведенного здания, в сторону ее уменьшения.

В итоге проектированием и возведением этажных зданий по высшему изложенному конструктивному решению является экономичный подход для Бурунди. Это то, что надо в Бурунди, так как для «не развитой» страны, разработка методика расчета учитывающий совместной работы железобетонной каркасной системы со связывающими кирпичными стенами каркасных систем, то есть с учетом разгрузочного эффекта от связующих кирпичных стен позволит возводить надежные конструкции по умеренной цене. Однако такой обоснованной концепции стоит более углубленные научные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.
- [2] СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции.
- [3] СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
- [4] Fazia Fouchal, Isabelle Titeux, Frederic Lebon. Contribution a la modelisation des interfaces dans les structures maconnees. 17eme congres Francais de Mecanique. Troyes – Septembre 2005.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СОГЛАСНО ЕВРОКОДУ (НА ПРИМЕРЕ НЕМЕЦКИХ НОРМ) И РОССИЙСКИМ НОРМАМ (СП 63.13330.2012 (СНИП 2.03.01-84) «БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»)

А.А. Шамреева

М.М. Манаева, к.т.н.

Кафедра строительных конструкций и сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, д.3, Москва, Россия, 115419

В статье авторами рассматривается один из наиболее распространённых методов расчёта параметров железобетонных изгибаемых элементов в Германии – « k_d -Метода» („ k_d -Verfahren“) на примере задачи определения площади поперечного сечения арматуры изгибаемой железобетонной балки прямоугольного сечения. Авторами статьи был проведён сравнительный анализ полученного решения с аналогичным расчётом согласно СП 63.13330.2012 (СНиП 2.03.01-84) «Бетонные и железобетонные конструкции».

Ключевые слова: расчёт железобетонных изгибаемых элементов, СП (СНиП), Eurocode, DIN EN 1992-1-1/NA, « k_d -Метод», расчётная и норма-

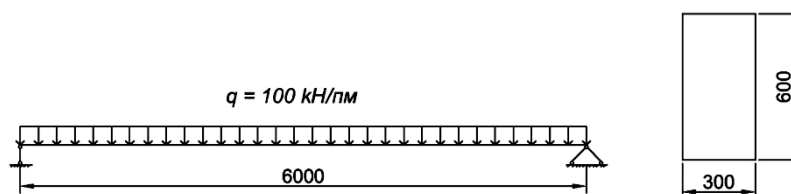
тивная характеристики, коэффициенты.

Железобетон – современный композитный строительный материал, широко применяемый как в гражданском, так и в промышленном строительстве. В соответствии с мировыми нормами и стандартами, железобетонные конструкции должны быть обеспечены требуемой прочностью и надёжностью от возникновения всех видов предельных состояний, а конструктивные решения железобетонных зданий и сооружений должны быть обусловлены соответствующим расчётом.

Расчёт и проектирование конструкций из железобетона имеет свои национальные особенности. В данной статье на примере задачи определения площади поперечного сечения арматуры изгибаемой железобетонной балки прямоугольного сечения приводится один из наиболее распространённых методов расчёта параметров железобетонных изгибаемых элементов в Германии – «k_d-Метода» („k_d-Verfahren“) – и проводится сравнительный анализ с аналогичным расчётом согласно СП 63.13330.2012 (СНиП 2.03.01-84) «Бетонные и железобетонные конструкции». Однако следует добавить, что подобный расчёт согласно Немецким нормам может быть также произведён при помощи «Общей расчётной диаграммы для элементов прямоугольного сечения» („Allgemeines Bemessungsdiagramm für Rechteckquerschnitte mit den Bemessungsschnittgrößen für $\xi_s \leq 25\%$ und für Betonfestigkeitsklassen $\leq C50/60$ “), « ω -Таблицы» („ ω -Tafel“), «Интерактивной диаграммы»

(„Interaktionsdiagramm“). [1]

Задача. Дана однопролётная шарнирно опёртая неразрезная балка сечением $b \times h = 300 \times 600$ см и приведённой длиной $l = 6$ м, нагруженная равномерно распределённой нагрузкой $q = 100$ кН/м. Определить необходимую продольную арматуру для поперечного сечения балки.



Максимальный изгибающий момент в поперечном сечении балки:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{100 \cdot 6^2}{8} = 450 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

1. Решение согласно Немецким нормам: Eurocode 1992 и DIN-1045:

1. Класс бетона принимаем C20/25:

- буква «С» обозначает нормальный бетон (бетон нормативной прочности);
- 20 означает $f_{ck} = 20 \text{ Н/мм}^2$ (нормативная величина прочности бетона на сжатие: образец формы цилиндра 30/15 см; твердение в течение 28 дней) [5], табл. 1.6;
- 25 означает $f_{ck,cube} = 25 \text{ Н/мм}^2$ (нормативная величина прочности бетона на сжатие: образец формы куба $h = 15 \text{ см}$; твердение в течение 28 дней) [5], табл. 1.6.

Тогда расчётная величина предела прочности бетона на сжатие:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 20 / 1,5 = 11,3 \text{ Н/мм}^2 \text{ [1] – [4]}$$

- $\alpha_{cc} = 0,85$ - коэффициент для бетонов нормативной прочности [1];
- $\gamma_c = 1,5$ - коэффициент надёжности для бетона, определяющий несущую способность бетона при определённом характере нагрузки [5], табл. 1.5.

2. Класс арматурной стали принимаем *B500B*. Тогда расчётная величина границы текучести стали:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ Н/мм}^2 \text{ [1] – [4]}$$

- $f_{yk} = 500 \text{ Н/мм}^2$ – граница текучести стали (нормативная величина) [5], табл. 1.7;
- $\gamma_s = 1,15$ - коэффициент надёжности для стали, определяющий несущую способность стали при определённом характере нагрузки [5], табл. 1.5.

3. Определяем рабочую высоту балки:

$$a = c_{nom} + d_{bar} + \phi / 2 = 40 \text{ мм} + 8 \text{ мм} + 22 / 2 \text{ мм} = 59 \text{ мм}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 30 \text{ мм} + 10 \text{ мм} = 40 \text{ мм}$$

$$d = h - a = 600 - 59 = 541 \text{ мм}$$

$$z_s = d - h / 2 = 541 - 600 / 2 = 241 \text{ мм}$$

4. Расчёт арматуры поперечного сечения с помощью k_d -метода:

а) определение величины параметра k_d :

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{b \cdot \sigma_{yk}}}} = \frac{541}{\sqrt{\frac{64,1}{1 \cdot 500}}} = 1,4 < k_d = 1,54 \text{ для бетона}$$

класса С20/25 в соответствии с данными таблицы [1], стр. 4-22 – 4-24.

Следовательно, согласно таблице « k_d » при выбранном классе бетона, необходимо произвести расчёт площади поперечного сечения арматуры не только в сжатой, но и в растянутой зоне.

б) из таблицы берём следующие коэффициенты (для арматуры с $\xi=0,617$):

$$k_{s1}=2,99 \quad k_{s2}=0,40$$

$$\rho_1=1,00 \quad \rho_2=1,02$$

в) определяем арматуру в растянутой зоне:

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot k_{s1} \cdot \frac{M_{Eds}}{d} = 1,00 \cdot 2,99 \cdot \frac{450}{54,1} = 24,87 \text{ см}^2$$

г) определяем арматуру в сжатой зоне:

$$A_{s2} = \rho_2 \cdot k_{s2} \cdot \frac{M_{Eds}}{d} = 1,02 \cdot 0,40 \cdot \frac{450}{54,1} = 3,4 \text{ см}^2$$

д) суммарное значение арматуры поперечного сечения:

$$A_{s,tot} = 28,27 \text{ см}^2$$

2. Решение согласно Российским нормам: СП 63.13330.2012 (СНиП 2.03.01-84) «Бетонные и железобетонные конструкции»:

1. Класс бетона принимаем В20:

- тяжёлый бетон;

- $R_b=11,5$ МПа – предел прочности бетона при осевом сжатии (призменная прочность) [7], табл. 6.8;

- $\gamma_b=1$ – коэффициент условий работы бетона согласно [8], табл. 15.

2. Класс арматурной стали принимаем АIII ($\varnothing 10 - 40$ мм):

- $R_s=365$ МПа – расчётное сопротивление арматуры сжатию для предельных состояний первой группы согласно [7], табл.6.14.

3. Определяем рабочую высоту балки:

$$a = \text{защ.слой} + d + c/2$$

$$a = 50 + 60 \text{ мм}$$

Принимаем $a = 55$ мм, тогда рабочая высота: $h_0 = h - a = 600 - 55 = 545$ мм

4. Расчёт арматуры поперечного сечения:

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot \gamma_b \cdot h_0^2} = \frac{45000000}{11,5 \cdot 1,00 \cdot 545^2} = 0,439$$

По таблице определяем: $\xi = 0,65$ и $\eta = 0,675$.

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\omega}{\rho_{SCU}} \left(1 - \frac{\omega}{\rho_{SCU}}\right)} = \frac{0,758}{1 + \frac{0,758}{0,002} \left(1 - \frac{0,758}{0,002}\right)} = 0,616 \quad \text{— [8], формула 25}$$

$$\xi = 0,65 > \xi_R = 0,616$$

Следовательно, необходимо произвести расчёт площади поперечного сечения арматуры не только в сжатой, но и в растянутой зоне.

Определение площади арматуры в сжатой зоне:

$$A_{s1} = \frac{M - 0,4R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_s \cdot (h_0 - a)} = \frac{450000000 - 0,4 \cdot 11,5 \cdot 300 \cdot 645^2}{365 \cdot (645 - 40)} = 217,6 \text{ см}^2$$

Определение общей площади арматуры:

$$A_{s, \text{итог}} = \frac{0,65R_b \cdot b \cdot h_0}{R_s} + A_{s1} = \frac{0,65 \cdot 11,5 \cdot 300 \cdot 645}{365} + 217,6 = 2985,5 \text{ см}^2$$

Таблица сравнения некоторых расчётных параметров железобетонных изгибаемых элементов (чистый изгиб)

Немецкие нормы (Eurocode 1992 и DIN-1045)			Российские нормы СП 63.13330.2012 (СНиП 2.03.01-84) «Бетонные и железобетонные конструкции»		
Символ	Его смысловое значение	Численное значение из примера	Символ	Его смысловое значение	Численное значение из примера
C12/15...C50/60	Класс бетона (С - бетон нормальной прочности)	C20/25	B3,5...60	Класс бетона (качество бетона)	B20
f_{ck}	Нормативная величина прочности бетона на сжатие (образец формы цилиндра 30/15 см; твердение в течение 28 дней)	$f_{ck} = 20 \text{ Н/мм}^2$	$R_{b,n}$	Нормативная величина предела прочности бетона при осевом сжатии (призмная прочность)	$R_{b,n} = 11,5 \text{ МПа}$
$f_{ck,cube}$	Нормативная величина прочности бетона на сжатие (образец формы куба $h = 15 \text{ см}$; твердение в течение 28 дней)	$f_{ck,cube} = 25 \text{ Н/мм}^2$	-	-	-
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$			$R_b = R_{b,n} / \gamma_b$		
f_{cd}	Расчётная величина предела прочности бетона при сжатии	$f_{cd} = 11,3 \text{ Н/мм}^2$	R_b	Расчётная величина предела прочности бетона при осевом сжатии (призмная прочность)	$R_b = 11,5 \text{ МПа}$
α_{cc}	Коэффициент для бетонов нормальной прочности	$\alpha_{cc} = 0,85$	α	Коэффициент для тяжёлых бетонов	$\alpha = 0,85$
γ_c	Коэффициент надёжности для бетона, определяющий	$\gamma_c = 1,5$	γ_b	Коэффициент условий работы	$\gamma_b = 1,0$

	несущую способность бетона при определённом характере нагрузки ($\gamma_c = 1,5$ – для постоянной и подвижной нагрузки; $\gamma_c = 1,3$ – для «редкой», нехарактерной, непостоянной нагрузки)			бетона при определённом характере нагрузки [8], табл.15	
B500	Класс арматурной стали (B500A – нормальной ковкости; B500B – высокой ковкости)	B500B	AIII, A400	Класс арматурной стали	AIII (Ø10 – 40 мм)
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$			$R_s = R_{sn} / \gamma_s$		
f_{yk}	Граница текучести стали (нормативная величина)	$f_{yk} = 500$ Н/мм ²	R_{sn}	Нормативные сопротивления растяжению	$R_{sn} = 390$ МПа
f_{yd}	Граница текучести стали (расчётная величина)	$f_{yk} = 435$ Н/мм ²	R_s	Расчётное сопротивление арматуры сжатию для предельных состояний первой группы	$R_s = 365$ МПа
γ_s	Коэффициент надёжности для стали, определяющий несущую способность стали при определённом характере нагрузки ($\gamma_s = 1,15$ – для постоянной и подвижной нагрузки; $\gamma_s = 1,00$ – для «редкой», нехарактерной, непостоянной нагрузки)	$\gamma_s = 1,15$	γ_s	Коэффициент надёжности по арматуре при расчете конструкций по предельным состояниям первой группы [8], табл.21	$\gamma_s = 1,07$
$d = h - a$ $z_s = d - h/2$ $a = c_{ном} + d_{bn} + \varnothing/2$			$h_0 = h - a$ $z_s = h_0 - h/2$ $a = \text{защ.слой} + d + c/2$		
h	Конструктивная высота поперечного сечения	$h = 600$ см	h	Конструктивная высота поперечного сечения	$h = 600$ см
b	Конструктивная ширина поперечного сечения	$b = 300$ см	b	Конструктивная ширина поперечного сечения	$b = 300$ см
d	Расстояние от ц.т. рабочего стержня до сжатой грани конструктивного сечения	$d = 541$ мм	h_0	Расстояние от ц.т. рабочего стержня до сжатой грани конструктивного сечения	$h_0 = 545$ мм
z_s	Расстояние от ц.т. рабочего стержня до ц.т. поперечного сечения элемента	$z_s = 241$ мм	z_s	Расстояние от ц.т. рабочего стержня до ц.т. поперечного	$z_s = 245$ мм

				сечения элемента	
a	Расстояние от ц.т. рабочего стержня до растянутой грани конструктивного сечения	$a=59\text{мм}$	a	Расстояние от ц.т. рабочего стержня до растянутой грани конструктивного сечения	$a = 55\text{мм}$
c_{nom}	Номинальная величина бетонного покрытия	$c_{nom}=40\text{мм}$	-	-	-
d_{bii}	Диаметр хомута (при наличии)	$d_{bii}=8\text{мм}$	-	-	-
$\phi/2$	Половина диаметра арматуры	$\phi/2=11\text{мм}$	d	Диаметр арматуры	$d = 22\text{мм}$
	$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$				
c_{min}	Минимальная величина бетонного покрытия, зависящая от класса бетона и стали	$c_{min}=30\text{мм}$	c	Минимальная величина бетонного покрытия, зависящая от класса бетона и вида конструкции	$c=25\text{мм}$
Δc_{dev}	Защитный слой бетона. Параметр зависит от класса бетона по эксплуатации (в различных условиях среды) Например, ХС-3 – средняя влажность (части здания, к которым обеспечен постоянный доступ воздуха, открытые помещения, внутренние помещения с высокой влажностью; кухни + ванны + бассейны)	$\Delta c_{dev}=10\text{мм}$	защ. слой	Величина защитного слоя бетонного покрытия, зависящая от диаметра рабочей арматуры	25 мм
k_d	Основной коэффициент данного метода расчёта	$k_d = 1,4$	α_m	Основной коэффициент данного метода расчёта	$\alpha_m = 0,48$
$k_{s1,s2}; \beta_{1,2}$	Дополнительные коэффициенты данного метода расчёта	$k_{s1,s2} = 2,4$ $\beta_{1,2} = 1,00$; 1,02	ξ и η	Коэффициенты данного метода расчёта	$\xi = 0,65$; $\eta = 0,676$
A_{st}	Площадь поперечного сечения арматуры растянутой зоны	$A_{st} = 24,87\text{см}^2$	A_s	Площадь поперечного сечения арматуры растянутой зоны	$A_s = 26,15\text{см}^2$
A_{sk}	Площадь поперечного сечения арматуры сжатой зоны	$A_{sk} = 3,4\text{см}^2$	A'_s	Площадь поперечного сечения арматуры сжатой зоны	$A'_s = 2,2\text{см}^2$
$A_{s,tot}$	Общая площадь арматуры поперечного сечения	$A_{s,tot} = 28,27\text{см}^2$	$A_{s,tot}$	Общая площадь арматуры поперечного сечения	$A_{s,tot} = 28,35\text{см}^2$

Из Таблицы сравнения некоторых расчётных параметров железобетонных изгибаемых элементов (чистый изгиб) можно сделать следующие выводы:

- основные принципы расчёта и проектирования одинаковы;
- при расчёте по Eurocode иногда используется большее число коэффициентов и учитывается большее число параметров (например, классы по эксплуатации гораздо обширней);
- разница между значениями:
 - а) общей площади арматуры поперечного сечения составляет 0,3%;
 - б) площади поперечного сечения арматуры сжатой зоны – 50,0%;
 - в) площади поперечного сечения арматуры растянутой зоны – 5,0%;
 - г) коэффициентов надёжности для стали γ_s – 7,5%;
 - д) коэффициент надёжности для бетона γ_c – 50,0%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] „Stahlbetonbau I“ (Stahlbetonbau – Grundlagen und Bemessung) – Hochschule für Technik – Prof. Dr.-Ing. Peter A. Steidle – Bachelor Studiengang Bauingenieurwesen SS 2013
- [2] DIN EN 1992-1-1:2011-01
- [3] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01
- [4] Eurocode 2: Design of concrete structures EN 1992-1-1
- [5] mb-news: Bemessungstabellen „Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbau nach Eurocode 2“
- [6] www.mbaec.de/tafel
- [7] СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» - Москва, 2012
- [8] СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции» - изд. Госстрой России – Москва, 1999.
- [9] СП 20.1330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» - Москва, 2011
- [10] Манаева А.А. Расчёт и конструирование элементов монолитного железобетонного перекрытия многоэтажного здания - Изд. 3-е перераб. и доп. Методические указания к курсовому проектированию. РУДН, 2014г. – в двух частях.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК ФАКТОР ОПТИМИЗАЦИИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

Т.В. Соколова, к.т.н.

Кафедра строительных конструкций и сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрено влияние термической обработки на магнитные и механические свойства аморфного быстрозакаленного магнитно-мягкого сплава на основе кобальта. Полученные результаты анализируются с позиций современных представлений.

Ключевые слова: быстрозакаленный сплав, термическая обработка, структура, коэрцитивная сила, магнитная индукция, начальная магнитная проницаемость, максимальная магнитная проницаемость, микротвердость, рентгеноструктурный анализ.

Аморфные сплавы на основе кобальта с близкой к нулю магнитострикцией являются новыми магнитно-мягкими материалами для электронной техники. Для сплавов этой группы, как и для других аморфных ферромагнетиков, характерна температурная нестабильность магнитных, электрических и механических свойств, что обусловлено протеканием обратимых и необратимых процессов структурной релаксации, и которые в значительной степени могут ухудшить эксплуатационные свойства конечных изделий. В настоящей работе исследовали влияние термической обработки на физические и механические свойства аморфного сплава на основе кобальта, что позволило установить область применения данного материала и оптимизировать магнитные свойства.

Аморфный сплав состава $(\text{Co,Fe,Ni})_{72}(\text{SiB})_{28}$ получали методом быстрой закалки струи расплавленного металла на внешней поверхности вращающегося медного барабана. Скорость охлаждения составляла $\sim 10^6$ К/с. Ширина полученной ленты составляла 0,015 м, толщина – $0,22 \cdot 10^{-8}$ м. Температуру кристаллизации определяли в процессе последующего нагревания с помощью дифференциального термического анализа (ДТА) при скорости нагрева 20 К/мин. Структурные исследования проводили методом рентгеновской дифрактометрии. Для определения величин магнитной индукции насыщения и коэрцитивной силы записывали петли гистерезиса с помощью флюксметра TRF-4. Эффективную магнитную проницаемость на частотах 1,1-10 МГц определяли с помощью высокочастотного моста ВМ-431 Е фирмы «TESLA». В обоих случаях использо-

вали тороидальные образцы. Удельное электросопротивление определяли компенсационным методом с помощью низкоомного потенциометра и эталонной катушки сопротивления. Твердость определяли на микротвердомере ПМТ-3. Термическую обработку проводили в вакуумированных ампулах по режиму: нагрев до температуры T_a выдержка в течение 1800 с, охлаждение в воде. Свойства исследовали при комнатной температуре.

Экспериментальные результаты зависимости микротвердости H_c , удельного электросопротивления ρ , начальной магнитной проницаемости $\mu_{нач}$, максимальной магнитной проницаемости μ_{max} , магнитной индукции насыщения B_s и коэрцитивной силы H_c в зависимости от температуры T_a приведены на рис.1. Измерение микротвердости было затруднено из-за хрупкости сплава после термообработки и малой толщины ленты. Для предотвращения разрушения образцов при индентировании применяли малые нагрузки (0,98Н). В результате получали отпечатки размером 12x15 мкм, что приводило к разбросу результатов измерения. Хрупкость сплава, термообработанного выше 573К, не позволила измерить свойства, за исключением микротвердости. Микротвердость в закаленном состоянии составляла 1100, монотонно снижаясь с температурой T_a до 800. При последующих нагревах, начиная с 632К, твердость постепенно возрастала, достигая первоначальных значений после термической обработки при 723-773К. Удельное электросопротивление в исследованном интервале температур T_a составило (4-4,5) Ом · мм²/м.

Магнитные свойства ферромагнитных сплавов, как известно, [1,2], чувствительны к термической обработке. Изменение магнитных свойств исследованного сплава в зависимости от температуры T_a носит сложный и неоднозначный характер. После нагрева до 373К наблюдается снижение H_c и B_s и увеличение $\mu_{нач}$ и μ_{max} . Такое изменение свойств может быть связано со снятием остаточных напряжений в процессе композиционного и топологического упорядочения [1,2]. При дальнейшем повышении температуры до 473-523К наблюдается повышение B_s , H_c (в 4 раза) и снижение $\mu_{нач}$ и μ_{max} . Следует отметить, что в указанном температурном интервале величины B_s и H_c проходят через максимум, а магнитная проницаемость через минимум. Увеличение H_c с температурой отмечается и в работах [2,3].

Как известно, коэрцитивная сила обусловлена многими факторами: вкладом от процессов движения стенок доменов, поверхностных дефектов, анизотропией вследствие появления продуктов кристаллизации. По мнению авторов [4], повышение H_c и понижение μ в результате термической обработки представляет собой одну из разновидностей магнитного последствия. Даже в отсутствие внешнего поля происходит направленное упорядочение. Оно имеет локальный характер в соответствии с распределением магнитных доменов, существующих в материале во время

нагрева. В результате происходит стабилизация или закрепление доменных стенок, причем эти явления преобладают над процессом снятия напряжений во время термической обработки.

Вопросы магнитного последствия тесно связаны с проблемой стабильности самой аморфной структуры. Следует отметить, что термообработка, приводящая к изменению исследованных свойств, не вызывает каких-либо структурных изменений в пределах разрешения рентгеноструктурного анализа. Дифрактограммы после термообработки при $T_a = 773$ и 823K фиксируют диффузное гало. Только после термообработки при 873K на дифрактограмме появляются характерные пики, свидетельствующие о прошедшей кристаллизации. По результатам ДТА температура кристаллизации сплава составляет $833 \pm 10\text{K}$. Несоответствие температуры кристаллизации по данным рентгеноструктурного анализа и результатам ДТА связано, по-видимому, с точностью метода и с различными условиями и скоростями нагрева образцов. Анализ дифрактограмм позволяет заключить, что структурное состояние сплава после термообработки при 823K отвечает смеси твердого раствора на основе $\alpha\text{-Co}$ и боридов Co_3B и $(\text{Co}, \text{Fe})_2\text{B}$. Таким образом, процессы, происходящие в температурном интервале $373 - 473\text{K}$, очевидно, являются результатом топологического и композиционного упорядочения, а при увеличении температуры нагрева свыше 473K к ним присоединяются процессы, приводящие к фрагментарному появлению тонкодисперсных (наноразмерных) кристаллических фаз. Последнее заключение требует дополнительных структурных подтверждений, например, с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

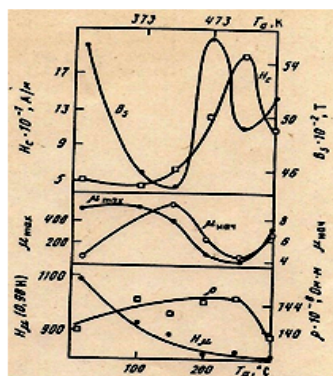


Рис.1. Влияние термической обработки на коэрцитивную силу, магнитную индукцию насыщения, начальную и максимальную магнитную проницаемость, удельное электросопротивление и микротвердость

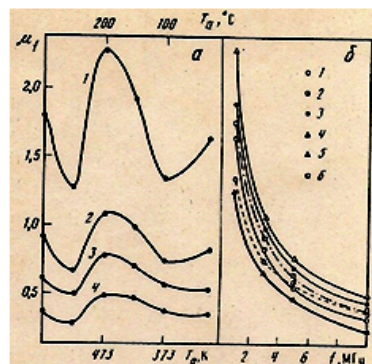


Рис.2. Влияние термической обработки (а) и частоты переменного поля (б) на эффективную магнитную проницаемость
а. f , МГц: 1 - 1,1; 2 - 3; 3 - 5; 4 - 10;
б. T_a , К: 1 - исходное состояние; 2 - 373; 3 - 423; 4 - 473; 5 - 523; 6 - 573

Влияние термической обработки на эффективную магнитную проницаемость μ_f в переменном магнитном поле показано на рис.2. Для исследованного сплава характерно резкое падение проницаемости (в 4-5 раз) с увеличением частоты от 1 до 10 МГц, что является закономерным в соответствии с моделью затухания вихревых токов. Повышение величины магнитной проницаемости после термической обработки наиболее заметно на малых частотах, при частоте 10 МГц это различие уменьшается. Следует отметить, что после нагрева до $T_a=573$ К наблюдается тенденция к повторному росту уровня магнитных характеристик, но это сопровождается интенсивным охрупчиванием материала.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грехам С.Д., Эгами Т. Магнитные свойства аморфных материалов // Быстрозакаленные металлы, М.: Металлургия, 1983. С. 269-275.
- [2] Smith С.Н., Nathasingh D., Lieberman Н.Н Thickens dependence of magnetic in amorphous FeBSiC ribbon under step dB/dt // IEEE Trans/Magn/1984/Vol.20,N5.P.1320-1322.
- [3] Yamasaki J., Mohri R., Watari K., Narita K. Domain wall anisotropy during annealing in amorphous ribbons// Ibid. P.1855-1857.
- [4] Фуджимори Х., Ота С., Масумото Т., Накамото К. Магнитное последствие в магнитных аморфных ферромагнетиках // Быстрозакаленные металлы, М.: Металлургия, 1983. С. 350-356.

Секция – 6
Инновационные технологии в строительстве

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ
ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА**

Н.И. Подгорнов, д.т.н.

Кафедра Жилищно-коммунального комплекса
Московский государственный строительный университет
Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия, 129337

Представлены результаты экспериментальных исследований по энергетической оценке гелиотехнических устройств и систем для термообработки бетона различной конструкции. Описаны тепловые режимы и конструктивные особенности гелиотехнических систем.

Ключевые слова: энергетическая оценка, гелиотехнические системы, тепловая обработка бетона.

В течение многих лет ученые РФ и стран СНГ независимо друг от друга проводят исследования по использованию солнечной энергии для тепловой обработки бетона в различных гелиотехнических устройствах. Среди них гелиокамеры типа теплиц, гелиокамеры с бетонными стенами, устройства типа плоского коллектора. Для энергетической оценки эффективности работы этих гелиоустройств и систем изготовлены их различные конструкции.

Изготовленные гелиотехнические устройства:

- гелиокамеры типа теплицы;
- гелиокамеры с замкнутой металлической оболочкой и однослойным прозрачным ограждением;
- гелиокамеры с замкнутой металлической оболочкой, размещенной в теплоизолированном коробе с однослойной прозрачной крышей;
- переставная гелиокамера с парафиновыми аккумуляторами тепла, прозрачным ограждением и металлической камерой.

Гелиокамеры установлены на местности с ориентацией продольной оси восток-запад. Была смонтирована также одноконтурная гравитационная система нагрева воды.

В сравнительных испытаниях была представлена также простая система нагрева бетона солнечной энергией типа плоского коллектора.

Одноконтурная система нагрева воды монтировалась из плоских коллекторов, изготовленных Братским заводом сантехнического оборудова-

ния. Каждая система имела шесть коллекторов с параллельно-последовательным способом их соединения; объем воды в системах был одинаков. Прозрачные ограждения всех гелиотехнических устройств и систем выполнены из полиэтиленовой пленки с коэффициентом пропускания в видимой области спектра 0,72, инфракрасной – 0,80.

Изучалось также влияние степени концентрации плотности потока солнечного излучения на температуру нагрева бетона при оснащении одноконтурной системы и простейшего устройства типа коллектора зеркальными отражателями. Концентраторы типа плоских зеркал изготавливались из листового алюминия, являющегося подложкой, и металлизированной пленки ПТЭФ-ДА с коэффициентом отражения 0,85. Таким образом, поверхность бетонных образцов в период проведения эксперимента подвергалась тепловому воздействию со степенью концентрации солнечной радиации, равной 1,8.

Энергетическая оценка эффективности работы гелиоустройств и систем проведена по температуре нагрева бетона. Бетон приготовлен на Воскресенском портландцементе с $V/C=0,51$, расходом цемента 415 кг/м^3 . Бетонная смесь с температурой 21°C укладывали в текстолитовые формы размером 20×20 см с металлическим дном. Боковые стенки форм теплоизолированы. Температуру нагрева теплоносителя, бетона в центре образца, наружного воздуха регистрировали с помощью хромель-копелевых термопар и записывали самопишущим потенциометром типа КСП-4. Экспериментальные работы выполнялись в естественных условиях в местности с географической широтой 56° при одновременном проведении их на всех гелиотехнических устройствах и системах. В различное время проведено несколько экспериментов с целью достижения повторяемости их результатов и получения достоверных данных.

В условиях проведения эксперимента при выдерживании бетона в гелиокамере типа теплицы максимальная температура его нагрева составила 46°C ; в теплоизоляционной опалубке типа плоского коллектора – 42°C . В гелиокамерах с тепловоспринимающими поверхностями бетон прогрелся до $52\text{--}55^\circ\text{C}$. Такие же результаты получены при твердении бетона в одноконтурной системе.

С увеличением плотности потока солнечной радиации на поверхности бетона возрастает температура его нагрева. Так, в одноконтурной системе со степенью концентрации 1,8 получена наибольшая температура нагрева бетона – 70°C , что на 15°C превышает температуру в бетоне при твердении его в одноконтурной системе без отражающих экранов. В бетонном образце, выдерживаемом в устройстве типа плоского коллектора с применением концентратора лучистой энергии, зарегистрирована температура до 52°C , что на 10°C превышает температуру, полученную в устройстве такого же типа без концентрации солнечной радиации.

Данные исследований свидетельствуют, что с энергетической точки зрения интерес представляют гелиокамеры с тепловоспринимающей поверхностью, а также одноконтурные гравитационные системы нагрева жидкого теплоносителя. Достоинством гелиокамер является возможность размещения в них изделия различных геометрических размеров и конфигурации с проведением пакетной технологии тепловой обработки бетона, что очень важно для предприятий с ограниченной заводской территорией. Из различных гелиокамер можно формировать также технологические линии, в которых могут осуществляться комбинированные методы теплового воздействия на бетона с использованием традиционного теплоносителя и солнечной энергии.

В одноконтурных гравитационных системах с естественной циркуляцией нагреваемая жидкость имеет наибольшую температуру на выходе из коллектора и входе в резервуар-аккумулятор. Увеличение тепловой энергии в верхней части резервуара-аккумулятора имеет большое практическое значение при конструировании гелиоустройств для тепловой обработки бетона.

Одноконтурные системы вместо резервуара-аккумулятора подсоединяются к опалубочным формам, имеющим тепловые отсеки в донной части и в ней циркулирует жидкий теплоноситель. Вследствие градиента плотности нагретая в коллекторе жидкость сосредотачивается в верхней части теплового отсека и нагревает низ опалубки, а, следовательно, низ бетонного изделия при укладке в нее бетона.

Таблица 1

Рост прочности бетона, твердеющего в опалубочной форме с размещением ее на аккумуляторе одноконтурной гелиосистемы

Прочность на сжатие	Время укладки бетонной смеси в опалубочные формы, ч					
	10	12	14	16	18	20
МПа	<u>24</u>	<u>23</u>	<u>22</u>	<u>21</u>	<u>19</u>	<u>18</u>
% R ₂₈	80	75	72	70	63	60

С размещением над изделием прозрачного ограждения образуется гелиосистема, в которой одновременно происходит прямой нагрев солнечной и аккумуляция тепловой энергией. Двухстороннее тепловое воздействие на бетон в системе при этом осуществляется по радиационно-кондуктивному способу подвода теплоносителя: сверху – прямой нагрев солнечной радиацией, снизу – аккумуляцией энергией. Бетон по сечению подогрывается равномерно. В табл. 1 приведены данные роста прочности бетона, свидетельствующие, что одно- или двухконтурные системы способны конкурировать по продолжительности тепловой обработки бетона с традиционными теплоносителями. С помощью одно- или двухконтурных систем нагрева жидкого теплоносителя можно круглосу-

точно проводить изготовление сборных бетонных и железобетонных изделий. Следует отметить эффективность использования солнечной энергии при производстве сборных изделий в случае применения концентраторов лучистой энергии.

АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ АКТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Д.Д. Коротеев, к.т.н.

Кафедра Проектирования и строительства промышленных и гражданских сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Проанализированы законодательные акты в области энергосбережения, затрагивающие строительный сектор экономики РФ. Определены основные направления разработки мероприятий по энергосбережению в строительстве.

Ключевые слова: строительство, законодательные акты, энергосбережение, эксплуатация зданий.

Главная задача, стоящая перед строительной отраслью на сегодняшний день - это снижение энерго- и материалоемкости строительного производства, снижение себестоимости строительной продукции.

Комплексное снижение энергетических затрат в строительстве может быть достигнуто при разработке ресурсосберегающих решений на всех его стадиях и направлениях: при проектировании зданий и сооружений, производстве строительных материалов и конструкций, организации и технологии выполнения строительных работ.

На уровне государственного планирования снижение энергозатрат в последние годы становится одной из приоритетных целей, о чем свидетельствуют:

– Федеральный закон №261-ФЗ от 23 ноября 2009 года "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". Закон содержит статью 11 "Обеспечение энергетической эффективности зданий, строений, сооружений", в которой содержатся "требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в зданиях, строениях, сооружениях устройствам и технологиям, а также требования к включаемым в проектную документацию и применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материа-

лам, позволяющие исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий, строений, сооружений, так и в процессе их эксплуатации" [1].

– Приказ Министерства экономического развития РФ №61 от 17 февраля 2010 года "Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, который может быть использован в целях разработки региональных, муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности" [2]. В утвержденном перечне содержатся "Мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности жилищного фонда", направленные на снижение энергопотребления жилых зданий в процессе эксплуатации.

– Постановление Правительства РФ №67 от 20 февраля 2010 года г. Москва "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам определения полномочий федеральных органов исполнительной власти в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности" [3]. В частности, эти изменения касаются Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору №32, утвержденному Правительством Российской Федерации от 30 июля 2004 года и дополняют его подпунктом "5.3.1.16. за соблюдением в пределах своей компетенции при проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений требований энергетической эффективности, требований их оснащенности приборами учета используемых энергетических ресурсов".

– Распоряжение Правительства РФ №2446-р от 27 декабря 2010 года "О государственной программе Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года" [4]. Целью программы является снижение энергоемкости валового внутреннего продукта, за счет реализуемых мероприятий, на 13,5%.

– Приказ Министерства регионального развития РФ №161 от 8 апреля 2011 года "Об утверждении Правил определения классов энергетической эффективности многоквартирных домов и Требований к указателю класса энергетической эффективности многоквартирного дома, размещаемого на фасаде многоквартирного дома" [5]. В приложении к приказу содержатся классы энергетической эффективности эксплуатируемых многоквартирных домов, определяемые исходя из фактических показателей удельного годового расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Основными направлениями, по которым разрабатываются мероприятия по энергосбережению в строительстве, на сегодняшний день являются:

- поиск энергоэффективных архитектурно-планировочных и конструктивных решений жилых и общественных зданий;
- проектирование инженерных систем и оборудования, снижающего энергозатраты в период эксплуатации зданий и сооружений;
- выбор материалов и конструкций с повышенными теплозащитными свойствами.

При объективном признании того, что проблему энергосбережения необходимо решать комплексно, основные усилия направлены на снижение энергозатрат в период эксплуатации зданий. В то же время, при разработке проектно-сметной и проектно-технологической документации, а также выполнении работ, связанных с подготовкой и непосредственным возведением зданий и сооружений, энергосберегающие мероприятия практически не внедряются. Тем не менее, их внедрение позволит снизить энергоемкость и, соответственно, себестоимость готовой строительной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
- [2] Приказ Министерства экономического развития РФ от 17 февраля 2010 года №61 "Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, который может быть использован в целях разработки региональных, муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности".
- [3] Постановление Правительства Российской Федерации от 20 февраля 2010 года г. Москва №67 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам определения полномочий федеральных органов исполнительной власти в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности".
- [4] Распоряжение Правительства РФ от 27 декабря 2010 года №2446-р "О государственной программе Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года".
- [5] Приказ Министерства регионального развития РФ от 8 апреля 2011 года №161 "Об утверждении Правил определения классов энергетической эффективности многоквартирных домов и Требований к указателю класса энергетической эффективности многоквартирного дома, размещаемого на фасаде многоквартирного дома".

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА В Г. ДАР-ЭС-САЛАМЕ, ТАНЗАНИЯ

Д.Д. Коротеев, к.т.н.

Гура Паскаль Маубхи

Кафедра Проектирования и строительства промышленных и гражданских сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Сформулированы экономические предпосылки строительства многофункционального жилого комплекса в г. Дар-эс-Саламе, Танзания. Дана краткая характеристика климатических и геологических условий района строительства. Разработаны организационно-технологические решения возведения подземной и надземной части здания в прибрежной зоне в условиях жаркой и влажной погоды.

Ключевые слова: Танзания, Дар-эс-Салам, строительство, организационно-технологические решения, многофункциональный жилой комплекс.

Дар-эс-Салам, расположенный на побережье Индийского океана, является крупнейшим портом Танзании и одним из самых крупных портов на восточном побережье Африки. Являясь самым большим городом, а также экономическим и политическим центром страны, Дар-эс-Салам привлекает инвестиции и представляет интерес для туристов со всего мира. Строительство в городе многофункциональных комплексов, отвечающих всем современным требованиям, является актуальной задачей.

Дар-эс-Салам находится в прибрежной тропической климатической зоне, которая характеризуется жаркой и влажной погодой в течении всего года. Сезон дождей длится шесть месяцев с октября по декабрь и с марта по май. В остальные периоды года осадков практически нет. Среднегодовое количество осадков составляет около 1100 мм. Максимальная температура воздуха, достигающая 35 °С, наблюдается с ноября по февраль. С мая по сентябрь, средняя температура воздуха составляет 22 °С. Максимальная влажность воздуха, достигающая 88%, наблюдается в апреле, а минимальная, составляющая около 64%, с июля по сентябрь [1].

Основными видами грунтов на территории Дар-эс-Салама являются известняковые грунты, глина с вкраплением песчаных грунтов и песчаные грунты. Рельеф достаточно ровный без значительных перепадов.

Возведение монолитного железобетонного здания переменной этажности (5-12 этажей) с подземным этажом в прибрежной зоне в условиях жаркого и влажного климата имеет организационно-технологические особенности, которые необходимо учитывать как на стадии проектирования, так и на стадии строительства.

На стадии календарного планирования необходимо проектировать сроки выполнения земляных работ с января по март или с мая по октябрь для исключения их осложнения обильными дождями.

Расположение здания на берегу океана исключает традиционный открытый способ разработки грунта. Задача усложняется наличием подземного этажа и необходимостью глубокого заложения фундамента. Традиционные методы водопонижения в условиях прибрежной зоны также не применимы.

На основе технико-экономического сравнения различных методов возведения подземных монолитных железобетонных конструкций в водонасыщенных грунтах выбран метод "Стена в грунте". Сущность метода заключается в устройстве выемок и траншей различной конфигурации в плане, в которых возводят ограждающие конструкции подземного сооружения из монолитного железобетона с последующей разработкой грунта, находящегося внутри сооружения. Преимущество метода состоит в одновременной разработке грунта и возведении подземных ограждающих конструкций здания.

Исходя из существующих геологических особенностей района строительства многофункционального комплекса, выбран мокрый способ возведения подземных конструкций методом "Стена в грунте". Он применяется в водонасыщенных неустойчивых грунтах, требующих крепления стенок траншеи от обрушения. Устойчивость стенок траншей обеспечивается заполнением их глинистыми суспензиями с тиксотропными свойствами (бentonитовыми глинами) способными разжижаться при воздействии вибрационных нагрузок. Bentonитовые глины создают водонепроницаемую пленку на стенах траншеи.

Последовательность основных строительных операций при устройстве железобетонных конструкций методом "Стена в грунте":

1. Забуривание торцевых скважин на захватке. Работы при отрывке траншеи и устройству "Стены в грунте" выполняют отдельными захватками через одну, длина захватки 2,5-6 м, ширина траншеи до 0,5 м.
2. Разработка грунта траншеи участками и последовательно на всю длину с постоянным заполнением открытых полостей бентонитовым раствором.
3. Установка ограничителей по торцам захваток.
4. Устройство форшахты на захватке.
5. Монтаж на захватке арматурных каркасов.
6. Опускание на дно траншеи бетонолитной трубы.
7. Очистка дна траншеи от осадка и замена загрязненной суспензии.

8. Бетонирование траншеи методом вертикально перемещаемой трубы в вытеснении глинистого раствора в запасные ёмкости или на прилегающий участок траншеи.
9. Извлечение ограничителей захваток через 3-5 часов после окончания бетонирования на захватке и заполнение образовавшейся полости бетонной смесью.

После набора бетоном проектной прочности выполняется разработка грунта внутри сооружения традиционным открытым способом с устройством временных креплений стен.

Комплекс работ по устройству монолитных железобетонных конструкций включает опалубочные, арматурные и бетонные работы. Для выполнения этих работ необходима разработка организационно-технологических решений, учитывающих особенности района строительства.

При проектировании опалубочных работ необходим дополнительный расчет устойчивости опалубочной системы в результате переменных ветровых нагрузок, возникающих в прибрежной зоне.

Повышенная влажность приводит интенсификации процессов коррозии стальной арматуры. Именно в результате коррозии арматурных конструкций происходит преждевременное разрушение бетона, так как постоянно увеличивающийся объем продуктов коррозии становится причиной образования трещин, возникновения внутренних напряжений и отслаиванию поверхностных бетонных слоев, приводящих к оголению арматуры. Со времени данный процесс переходит в необратимую стадию, а поврежденные конструкции выходят из строя, практически полностью теряя свои несущие способности.

Одним из решений данной проблемы является эпоксидное покрытие, наносимое на арматуру и образующее пластичный защитный слой, имеющий заданную толщину.

Другим вариантом решения проблемы коррозии является использование стеклопластиковой арматуры в комбинации со стальной арматурой.

Стеклопластиковая арматура представляет собой строительный материал, созданный на основе связанных сложным составом волокон. Она производится на основе базальто-, стекло- и углеволокна, причем они могут комбинироваться.

В составе стеклопластиковой арматуры можно выделить две части. Первая – это ствол, благодаря которому достигается высокая прочность материала. Волокна связываются между собой полиэфирными смолами композита. Внешний слой служит для надежного сцепления с бетоном: это волокнистое тело, которое накручено вокруг ствола по спирали.

Бетонные работы связаны с приготовлением бетонной смеси, составляющими которой являются: вяжущее, мелкий и крупный заполнители, вода.

В качестве вяжущего в Танзании применяется портландцемент, соответствующий российским маркам 300 и 400.

Песок в прибрежной зоне не может быть использован в качестве мелкого заполнителя, так как он содержит большое количество соли, отрицательно влияющей на качество бетона.

Так как традиционных крупных заполнителей, таких как речной гравий, в районе строительства нет, в качестве заполнителей могут быть использованы коралловые агрегаты, максимально очищенные от хлорида натрия.

Для приготовления бетонной смеси необходимо использовать пресную воду, так как морская вода содержит большое количество соли. Запасы пресной воды в Танзании ограничены, поэтому для получения пресной воды в технологических целях, а именно, для приготовления бетонной смеси, необходимо устраивать опреснители морской воды и водосборники для дождевой воды.

Наиболее экономичным вариантом опреснения морской воды в условиях Танзании является солнечное опреснение, основанное на использовании солнечной энергии для опреснения воды.

Для сбора дождевой воды в период дождей необходимо устраивать веранды с водосборниками и подземными резервуарами для хранения пресной воды. Конструкции опреснителей и водосборников могут использоваться не только в период строительства здания, но и в период его эксплуатации.

Жаркая погода интенсифицирует процессы твердения и набора прочности бетоном. Однако, его твердение в прибрежной зоне в жаркую погоду без ухода связано с интенсивным испарением влаги, что приводит к трещинообразованию и потери прочности до 30-40% R_{28} [2]. В качестве ухода за бетоном целесообразно применение прозрачных полимерных материалов, ограничивающих его массообмен с окружающей средой и пропускающих солнечное излучение, ускоряющее структурообразование бетона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] K.A. Msindai. Engineering geological mapping of Dar-es-salaam city, Tanzania. Department of Geology University of Dar-es-salaam, Tanzania. – Tanz. J. Sci. Vol. 28(2), 2002.
- [2] Подгорнов Н.И. бетона с Термообработка использованием солнечной энергии / Н.И. Подгорнов. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 328 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

А.П. Свинцов, д.т.н.

Кафедра проектирования и строительства
промышленных и гражданских сооружений,
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Представлена информация о подготовке высококвалифицированных специалистов-строителей в Российском университете дружбы народов.

Ключевые слова: обучение, исследования, строительство.

Подготовка высококвалифицированных для строительной отрасли представляет собой важную задачу образовательной деятельности в Российском университете дружбы народов (РУДН). РУДН – это международный университет классического типа, имеющий многопрофильную структуру институтов, факультетов, кафедр и специальностей и многонациональный коллектив преподавателей, студентов, аспирантов более, чем из 140 стран мира. За 55 лет плодотворной образовательной деятельности университет получил всемирную известность как крупный учебный и научный центр, имеющий огромный опыт международного сотрудничества. По данным Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) за период 2010-2014 гг. РУДН "занимает 3 место по количеству научных публикаций после МГУ им. Ломоносова и СПбГУ (из 10737 научных учреждений и вузов России); 2 место по количеству научных публикаций после МГУ им. Ломоносова (из 1084 научных учреждений и вузов г. Москвы); 16 место по количеству научных цитирований (из 10737 научных учреждений и вузов России); 6 место по числу цитирований (из 1082 научных учреждений и вузов г. Москвы), а по данным агентства Tomson&Reuters (2014 г.) – 2 место по количеству национальных патентов с 2002 по 2012 гг. (после Госкорпорации Росатом) В международном рейтинге QS University Rankings 2014 РУДН - вновь в TOP-500 лучших университетов мира (на 20 позиций выше, чем в 2013 г.) [1]. Это весьма существенные достижения всего коллектива РУДН, которые являются уже пройденным этапом на пути решению не менее сложных задач.

В этом аспекте подготовка элитарных специалистов в области строительства, проявляющаяся в практической направленности получения новых знаний и их полезности, базирующаяся на разработке методов и механизмов, позволяющих исследовать процессы становления, развития и функционирования сложных систем, как объектов познания, в будущем и

предвидеть особенности изменения под влиянием различных внутренних и внешних факторов, базируется на системе междисциплинарных научных связей. Многоуровневая система высшего образования "бакалавр - магистр - кандидат наук" (Ph.D) и введение кредитно-модульной схемы организации учебного процесса с применением зачетных единиц ECTS предусматривает возможность студентам РУДН получать приложения к диплому общеевропейского образца (Diploma Supplement) на 5 иностранных языках, рекомендованное Европейской комиссией, Советом Европейского сообщества и ЮНЕСКО, и участвовать в академических обменах с другими университетами мира.

Обеспечение профессиональной подготовки специалистов по направлению 08.03.01 "Строительство" осуществляется в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) и программы Европейской системы конвертации и накопления зачетных баллов (ECTS). Современные принципы и инновационные методики университетского образования базируются на системе взаимосвязанных учебных циклов и разделов, специально разработанных для бакалавров и для магистров. Для лучшего усвоения материала студентами в такой сложной области как строительство и с целью формирования и развития профессиональных навыков в учебном процессе широко используется активная и интерактивная формы проведения занятий (компьютерные симуляции, деловые и ролевые игры, разбор конкретных ситуаций, поисковых и иных тренингов) в сочетании с внеаудиторной (самостоятельной) работой, постоянный творческий и деловой контакт с представителями строительных компаний, мастер-классы экспертов и специалистов. Подобная форма обучения показала свою эффективность и высокую адаптивность.

Подготовка элитарных строителей-исследователей, получающих за годы обучения как необходимую общенаучную и профессиональную подготовку, так и хорошие навыки научно-исследовательской работы в области проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации промышленных и гражданских зданий и сооружений различного назначения осуществляется на основе инновационных методик и современных принципов университетского образования.

Магистерская программа по направлению "Теория и практика организационно-технологических и экономических решений в строительстве" аккредитована аккредитационным советом АИОР на максимально возможный срок (5 лет) с присвоением Европейского знака качества EUR-ACE®. Учебным планом предусмотрена большая свобода выбора обучающимися дисциплин: "Управление проектами"; "Технология возведения зданий и сооружений"; "Проектирование и строительство инженерных систем" и др. Обучающиеся самостоятельно выбирают направление

подготовки для дальнейшего применения полученных знаний в производственно-технологической, производственно-управленческой, проектно-исследовательской, управлению проектами, экспериментально-исследовательской, монтажно-наладочной и эксплуатационной профессиональной деятельности. При этом каждый из читаемых модулей представляет собой раздел строительной науки, воспринимаемой обучающимися как цельный самостоятельный элемент системы знаний в избранной профессиональной области.

Формы контроля и требования к работе студентов основаны на единой методологической системе, разработанной в университете, а балльная структура оценки определяется преподавателем самостоятельно и включается в описание каждой конкретной дисциплины. При этом балльно-рейтинговая система оценки знаний по каждой конкретной дисциплине доводится до сведения студентов через кабинет преподавателя на сайте университета и в течение учебного года не изменяется.

Во время обучения студенты имеют возможность изучать иностранные языки и получить квалификацию переводчика или референта-переводчика с одного, двух или трех иностранных языков и второе высшее образование по многим направлениям профессиональной деятельности.

Одним из важнейших компонентов учебного процесса подготовки обучающихся является практика: научно-исследовательская, педагогическая и научно-производственная. Целью проведения практики является освоение обучающимися компетенций в области научно-исследовательской и инновационной деятельности и решении технических задач в условиях профессиональной деятельности.

Решение научных и технических задач, включая теоретические и экспериментальные исследования, опытно-конструкторские работы, невозможно без участия науки и современных научных знаний. Поэтому главный акцент в системе подготовки студентов-строителей заключается в создании условий наибольшего благоприятствования для занятия научно-исследовательской работой. Проведение научных исследований и освоение современного исследовательского оборудования способствует повышению уровня научных исследований и престижа профессии строителя-исследователя. Студенты вовлекаются в научную работу уже с первого дня обучения, имея возможность работать в лабораториях "Автоматизированные системы исследований и анализа", "Инженерное оборудование", "Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений", которые оснащены современным оборудованием и приборами, позволяющими выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по приоритетным научным направлениям. Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений научного фор-

мирования высококвалифицированных строителей является разработка нанотехнологий. Студенты пробуют свои силы в области исследования, учатся выявлять и анализировать ошибки, а также развивать полученные результаты.

Особенностью развития науки является способность к накоплению знаний, получаемых в результате исследований. При этом новые результаты не перечеркивают имеющиеся достижения, а дополняют и уточняют их. С развитием науки увеличивается объем знаний, которые служат основой для новых исследований, переосмысления и дополнения имеющихся результатов. Разработка технических и технологических решений является одним из направлений решения научно-технических задач в строительстве. Совершенствование технологии возведения зданий и сооружений, создание новых технологических процессов составляют основу повышения эффективности строительства.

Выполнение научно-исследовательской работы, решение научно-технической задачи тесно связаны с разработкой технических или технологических решений, которые могут быть предметом интеллектуальной собственности. На инженерном факультете преподавателями совместно со студентами и аспирантами разработаны и защищены патентами РФ технические и технологические решения для защиты водных ресурсов от загрязнения и обеспечения доступности систем водоснабжения и водоотведения для населения. При подготовке специалистов-строителей очень важно не только обеспечить необходимый уровень воспитания и передачи знаний в теоретическом и практическом аспектах, но и развитие навыков и компетенций в части изложения своей точки зрения, представления результатов своих исследований, обмена мнениями в рамках научных дискуссий на конференциях, семинарах, симпозиумах. Это позволяет активизировать развитие интеллектуального потенциала молодых специалистов. Сообщение о результатах представляет собой ответственную и сложную задачу. Описание результатов решения научно-технической задачи представляет собой продолжение исследования, а не его завершение. Правильное ее решение позволяет получить признание результатов работы, коммерческий успех и пр. От того, насколько грамотно и корректно будут представлены результаты исследования, может зависеть и дальнейшая судьба данного исследования, его цели, а иногда и самого исследователя. Проведение научно-практических конференций и семинаров совместно с представителями производственных предприятий позволяет студентам и специалистам, а также профессорско-преподавательскому составу акцентировать взаимное внимание на наиболее актуальных задачах формирования молодых специалистов и развития инновационного ресурса строительного комплекса. Целью конференций является развитие научно-исследовательских работ и научного по-

тенциала молодых специалистов, занимающихся научными и прикладными исследованиями в области технологии и организации строительства, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений, а также повышение квалификации профессорско-преподавательского состава и специалистов строительных предприятий [2]. При этом необходимо подчеркнуть, что студенты-строители в условиях подготовки преуспели в принятии решений, которое является важнейшей компонентой самостоятельной и плодотворной работы любого элитарного специалиста.

Учебный процесс построен таким образом, чтобы обеспечить каждому обучающемуся максимально благоприятные условия для освоения учебных циклов и разделов основной образовательной программы по направлению и получения по завершению обучения общекультурных и профессиональных компетенций в полном соответствии с требованиями действующего законодательства, Федерального образовательного стандарта высшего образования и др. нормативных документов.

Таким образом, подготовка высококвалифицированных специалистов для строительной отрасли, базирующаяся на современных образовательных технологиях, позволяет обучающимся получить необходимые общенаучные, профессиональные компетенции и хорошие навыки научно-исследовательской работы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.rudn.ru/#!/.?pages=4759> (23.03.2015).
[2] Свинцов А.П., Николенко Ю.В. Научно-практический семинар как важный элемент подготовки высококвалифицированных специалистов-строителей // Жилищное строительство. 2011. №4. –С. 40-41.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ В НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКЕ

Т.В. Скрипник

Кафедра проектирования и строительства
промышленных и гражданских сооружений,
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Представлены результаты исследования безотказности технологической системы возведения жилых зданий в несъемной опалубке.

Ключевые слова: несъемная опалубка, стяжной стержень, бетон, надежность, безотказность.

Технология возведения зданий в несъемной опалубке находит все более широкое применение в России и других странах. Качество возводи-

мых зданий во многом определяется надежностью применяемых технологических систем. Несъемную опалубку применяют для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций без последующего распалубливания. При этом представляется возможным одновременного решения нескольких задач: создания облицовки, теплоизоляции и гидроизоляции.

Одной из важнейших проблем при возведении зданий из монолитного бетона и железобетона в несъемной опалубке является обеспечение ее геометрической неизменяемости. Неизменность геометрических параметров позволяет обеспечить проектное качество стен как с позиции выполнения последующих отделочных работ, так и в части предотвращения уменьшения теплозащитного слоя конструкции из-за того, что при распорной деформации щиты опалубки, представляющие собой пластины из пористого материала раздвигаются, а толщина уложенного бетона увеличивается. Этот недостаток наиболее часто проявляется в нижней части опалубочного блока, где наибольшее гидростатическое давление от уложенного бетона. Указанный недостаток не позволяет обеспечить высокое качество выполнения бетонных работ и не допускать утолщения конструкции за счет уменьшения поперечного размера плиты, являющейся теплоизолятором конструкции и неотъемлемой частью опалубки. Для выравнивания поверхности возведенной конструкции выпирающую часть щита опалубки срезают заподлицо. Это приводит к уменьшению теплоизоляционного слоя стены, а в этом месте образуется мостик холода. Указанный недостаток является весьма значительным и скрытым под отделочным материалом, но проявляющимся в виде промерзания или прогрева в холодный или в жаркий периоды года, соответственно. Геометрическая неизменяемость несъемной опалубки, содержащей уложенный бетон, является одним из контролируемых параметров качества производимого изделия. Пример нарушения проектных геометрических параметров возводимой стены представлен на рис. 1.

Параметры качества, представленные в количественном аспекте, позволяют судить от надежности строительной технологической системы. Надежность строительной технологической системы характеризуется в основном свойством ее безотказности. В настоящее время вопросы безотказности строительных технологических систем разработаны не в полной мере, что сдерживает решение задач по обеспечению их эффективности. Под безотказностью строительной технологической системы мы понимаем вероятность выполнения задания в соответствии с действующей нормативно, технологической и проектной документацией.



Рис. 1. Нарушение геометрических параметров наружной стены, возведенной в несъемной пенополистирольной опалубке
 А – выпирание опалубки; Б – "заглаживание" дефекта

Для определения вероятности безотказной работы и вероятности отказа целесообразно использовать метод непосредственного вычисления по формулам:

$$P^*(t) = \frac{\Omega - \omega(t)}{\Omega} \quad (1)$$

$$Q^*(t) = \frac{\omega(t)}{\Omega} \quad (2)$$

где Ω – величина обследованной площади забетонированной поверхности строительной конструкции; $\omega(t)$ – площадь дефектных участков поверхности, забетонированной за время t .

При увеличении площади обследованной поверхности бетонирования опытно-статистическая оценка $P^*(t)$ и $Q^*(t)$ характеризуются устойчивостью:

$$P^*(t) \rightarrow P(t); \quad Q^*(t) \rightarrow P(t) \quad (3)$$

Автором выполнен анализ результатов обследования состояния наружных железобетонных стен жилых зданий, возведенных в несъемной опалубке. В настоящее время указанные здания находятся в эксплуатации. В результате анализа технологической системы процессов бетонирования установлено, что вероятность безотказной работы технологиче-

ской системы возведения жилых зданий в несъемной опалубке колеблется от $P^*(t) = 0,639$ до $P^*(t) = 0,921$ и составляет в среднем $P^*(t) = 0,811$.

В процессе исследования выявлены основные причины возникновения отказов по качеству, заключающиеся в следующем. При укладке бетонной смеси и при ее уплотнении перемычки, закрепленные поперечными пластинами, не выдерживают нагрузку от гидростатического давления и разрываются. Из-за разрыва стяжных элементов щиты опалубки, представляющие собой плиты, выполненные из различных материалов, раздвигаются. Недостатком технологической системы является также низкая надежность зацепления зубьев перемычек. При укладке бетона и, особенно, при его уплотнении зацепные зубья выпадают из ответных окон.

Это не позволяет обеспечивать необходимую геометрическую неизменяемость блока несъемной опалубки. Как было отмечено, указанный недостаток наиболее часто проявляется в нижней части опалубочного блока, где наибольшее гидростатическое давление от уложенного бетона. Это приводит к тому, что геометрическое положение щитов опалубки, выполненных в виде плоских облицовочных плит, нарушается, а на возведенных конструкциях появляются явно выраженные неровности.

Утолщение бетонных стен сопряжено с необходимостью дополнительных работ по зачистке поверхности пластин. Однако, при этом ухудшаются теплотехнические характеристики возведенной конструкции из-за образования мостиков холода в зимний период года. Совокупность указанных недостатков обуславливает необходимость совершенствования блока несъемной опалубки.

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ЗДАНИЙ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Н.А. Сташевская, к.т.н.

А.Н. Малов, к.т.н.

О.В. Панин

Кафедра проектирования и строительства промышленных и гражданских сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье приводятся результаты тепловизионного обследования фрагмента фасада здания инженерного факультета Российского университета дружбы народов.

Ключевые слова: эксплуатационная надёжность зданий и сооружений, теплоустойчивость зданий, тепловизионная съёмка.

Сложившаяся в 2014 году сложная экономическая ситуация, связанная с санкциями ряда Европейских стран и США в отношении Российской Федерации и ответными мерами, напрямую сказалась на строительном комплексе. Количество новостроек резко сократилось. Как следствие повышаются требования к эксплуатационной надёжности эксплуатируемых объектов. Важнейшим показателем эксплуатационной надёжности объектов является их теплоустойчивость.

Теплоустойчивость зданий и сооружений – это способность ограждающих конструкций сохранять в допустимых пределах постоянство температуры на их внутренней поверхности при периодических колебаниях температуры наружного воздуха, граничащего с конструкцией, и при изменениях проходящего через конструкцию теплового потока. Теплоустойчивость зданий и сооружений наиболее часто проверяется при помощи тепловизионного обследования [1].

Тепловизионное обследование - это проверка зданий, сооружений и промышленного оборудования методом неразрушающего контроля, включающая в себя получение достоверной информации и оценку реального состояния обследуемых объектов с точки зрения наличия или отсутствия источников передачи тепла. Тепловизионное обследование заключается в отражении состояния обследуемой поверхности объекта на температурной карте (рис.1).

В Российском университете дружбы народов в 2015 было проведено тепловизионное обследование здания инженерного факультета, расположенного по адресу г. Москва, ул. Орджоникидзе, д.3.

Изображение в инфракрасном спектре

Цифровой фотоснимок

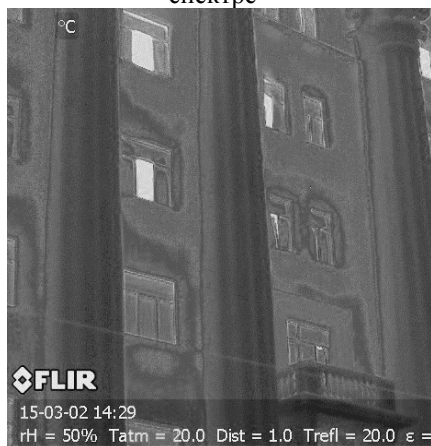




Рис.1. Тепловизионная съёмка центрального фасада здания

Обследование проводилось с использованием тепловизора «ТермоСам». Тепловизор – это оптико-электронный измерительный прибор, который работает в инфракрасной области электромагнитного спектра. Он обеспечивает переход теплового инфракрасного излучения всех исследуемых объектов в видимую область.

Обследования здания инженерного факультета проводились с наружи по всему периметру. Результаты тепловизионной съёмки фрагмента центрального фасада, приведённые на рис.1, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты тепловизионной съёмки центрального фасада здания

Измеряемая точка поверхности фасада	Температура на поверхности фасада, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура внутреннего воздуха, °С
М1 – максимальная температура	+6,3	-3	+26
М2 – минимальная температура	-0,4		
М3 – средняя температура	+1,2		

Детальное обследование здания инженерного факультета позволило выявить участки фасада, где есть наличие теплопотерь. В помещениях с

теплопотерями была проведена тепловизионная съёмка внутренних поверхностей. Анализ полученных данных позволяет сделать предложения по повышению теплоустойчивости здания в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Организационно-технологическая надёжность строительного производства: Вестник РУДН. – Москва, РУДН, 2013 г. –с.13-17.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С УСЛОВИЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Панин О.В.^{1,2},
Верхоглядов А.А.^{1,3}

1 – инженер ООО "Центр обеспечения пожарно-спасательной и научной деятельности"

Гамсоновский пер., д. 2, г. Москва, Россия, 115191

2 – ст. преподаватель Российский университет дружбы народов

ул. Миклухо-Маклая, д. 6 Москва, Россия, 117198

3 – к.т.н. доцент РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева

ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Россия, 127550

Современное строительство, двигаясь в общем русле более внимательного отношения к лицам, имеющим ограниченную, по сравнению с основной массой населения, подвижность, предполагает при проектировании, возведении зданий или (и) их реконструкции реализацию целого комплекса мер, направленных на обеспечение доступности лиц с ограничениями мобильности (маломобильных групп граждан, далее - МГН) во все доступные для людей без ограничения мобильности помещения зданий.

Требования о мерах, нормативно сопровождающих создание полноценной безбарьерной среды для МГН, содержатся в ряде нормативных актов Российской Федерации, в частности в специализированном СП 59.13330.2012 "Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения".

Вместе с тем, присутствие в любой общедоступной точке здания различного назначения лица с ограниченной мобильностью создает значительные сложности с обеспечением своевременной и беспрепятственной эвакуации (то есть самостоятельного движения лица в безопасное место, как правило, вне здания) данного лица при возникновении чрезвычайной ситуации, наиболее опасной и вероятной из которых является пожар. Наибольшему риску подвергаются инвалиды-колясочники (категория

М4), доступ которых на этажи здания, не имеющие непосредственного заезда с планировочной отметки окружающей здание территории, производится на лифтах. Важно заметить, что лифты, согласно действующим противопожарным нормативам, ни при каких условиях не являются путями эвакуации и подлежат принудительному уходу на основной посадочный этаж (как правило, первый) по сигналу "Пожар" в системе автоматизации и диспетчеризации здания. Дальнейшее использование возможно только для специализированных лифтов с режимом перевозки пожарных подразделений (при наличии в здании подобных лифтов) и только при условии нахождения в них пожарных расчетов.

Единственными путями эвакуации с этажей выше 1-го являются лестничные клетки. Эвакуация маломобильных граждан по лестничным клеткам является затруднительной для лиц с ограниченной мобильностью (исследования В.В. Холщевникова, Д.А. Самошина, Р.Н. Истратова [1], И.С. Кудрина [2], А.П.Парфёненко [3], проведенные в Академии ГПС МЧС России). Движение по лестницам инвалидов-колясочников технически невозможно, лица же категорий М2 и М3 (люди с существенными ограничениями мобильности, но передвигающиеся самостоятельно), согласно единственной официально утвержденной методике (приложение к приказам №№ 382, 749 МЧС России, разработчик методики ВНИИПО МЧС России), содержащей алгоритм проведения расчета эвакуации людей для общественных зданий, существеннейшим образом ограничивают скорость эвакуации людей, создавая, по сути, угрозу для всего коллектива людей в горящем здании.

Таким образом, представляется оправданной и достойной дальнейшего развития существующая практика создания на этажах зданий, в первую очередь повышенной этажности и высотных, пожарозащищенных зон безопасности для лиц, эвакуация которых в высокоплотных потоках по лестницам невозможна (М4), затруднена (М2 и М3) или опасна для них самих (беременные на больших сроках, дети-дошкольники, астматики, клаустрофобы, нетранспортабельные больные и т.п.). Данные зоны безопасности должны иметь площадь по расчетному обоснованию на основании вышеприведенной методики и СП, по материалам апробированных профильных работ открытого доступа, статистических данных и с обязательным учетом специфики объекта. Крайне желательно наличие выхода из данных зон к тамбурам (тамбур - шлюзам) лифтов для перевозки пожарных подразделений либо размещение пожаробезопасных зон в тамбур-шлюзах подобных лифтов.

Время нахождения людей в подобной пожаробезопасной зоне (далее - ПБЗ) должно рассматриваться равным не менее чем 60 минут по действующим нормативным требованиям. Очевидно, для ПБЗ должна обеспечиваться как незадымляемость, то есть защита от проникновения в зону

продуктов горения, так и возможность относительно комфортного нахождения людей в ПБЗ.

Общепринятой практикой защиты помещения от задымления, происходящего чаще всего через дверной проем, является принудительная подача в объем помещения воздуха в количестве, гарантирующем невозможность проникновения дыма в створ двери как в открытом, так и в закрытом ее состоянии. При этом новейшая проектная практика, применяемая при разработке противопожарных мероприятий, предполагает подачу расхода воздуха, гарантирующего незадымляемость при открытой двери, только в момент времени, когда дверь открыта. Данный расход относительно велик, порядка 10...12 тыс. м³ в час, но непродолжителен, и может осуществляться непосредственно наружным воздухом, что характерно для систем подпора противодымной вентиляции. После того, как люди вошли в ПБЗ, целесообразно резко, до 0,2...0,4 тыс. м³ в час, снизить расход подаваемого воздуха, так как потери через неплотности закрытой противопожарной двери, ведущей в зону, крайне незначительны. Но, так как продолжительность пребывания людей в ПБЗ достигает 1 часа, необходим подогрев (в зимнее время) [4] и, возможно, кондиционирование постоянно подаваемого в зону воздуха.

Принципиальная схема такого решения приведена на рис. 1.

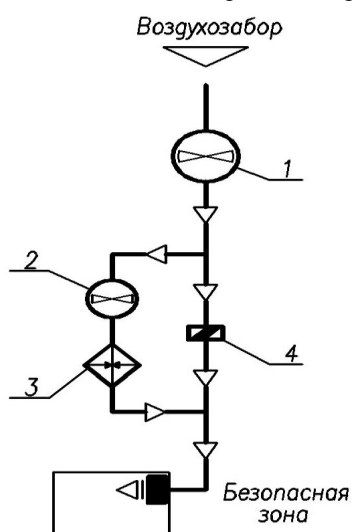


Рис. 1. Принципиальная схема подпора воздуха в ПБЗ.

Узел нагрева воздуха приточной противодымной вентиляции состоит из основного вентилятора 1, рассчитываемого на открытую дверь, вспо-

могательного вентилятора 2, рассчитываемого на создание избыточного давления в ПБЗ при закрытой двери, электрического воздушнонагревателя 3 и обратного клапана 4.

По сигналу «Пожар» включается вентилятор 2 и электронагреватель 3. Обратный клапан 4 закрыт.

Вентилятор 1 включается по сигналу «Пожар» и по сигналу от датчика открытой двери зоны безопасности.

Таким образом, во все время нахождения людей в помещении ПБЗ при закрытой двери будет поддерживаться необходимая избыточное давление с заданной положительной температурой воздуха.

Данные мероприятия успешно реализуются на объектах, проектирование, согласование и строительство которых ведется при участии ООО "Центр ОПСН".

Дальнейшим путем совершенствования защиты ПБЗ видится контроль задымленности входящего в систему подпора воздуха и возможность селективного выбора точки забора воздуха с целью недопущения попадания продуктов горения (опасных факторов пожара) в объемы, защищаемые противодымной вентиляцией, в том числе в пожаробезопасные зоны.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.В.Холщевников, Д.А.Самошин, Р.Н.Истратов. Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата. Пожаровзрывобезопасность. – 2013 г. Том 22 №3. С. 48–56.
- [2] И.С.Кудрин. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2013 г.
- [3] В.В.Холщевников, А.П.Парфёненко. О моделировании эвакуации людей и динамики опасных факторов пожара в целях нормирования эвакуационных путей. Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" (<http://ipb.mos.ru/ttb>) Выпуск №1 (53), 2014 г.
- [4] СП 7.13130 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Требования пожарной безопасности". Москва, 2013. П. 7.17 е.

БЕЗУДАРНАЯ СРУБКА СВАЙ

А.Н.Малов, к.т.н.

Н.А.Сташевская, к.т.н.

К.Г. Димитриади

Кафедра проектирования и строительства промышленных и гражданских сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассматривается технология безударной срубki оголовков свай.

Ключевые слова: сваи, безударная срубка.

В промышленном и гражданском строительстве широкое использование забивных свай началось в конце XIX века в связи с появлением и развитием железобетона. Для погружения железобетонных свай были созданы мощные копровые установки с паровыми молотами. Развитие техники дало толчок к использованию не только ударных методов забивки свай, но и применение вибрации, вдавливания и их комбинации.

Дальнейший технический прогресс в фундаментостроении неразрывно связан с необходимостью быстрого развития и совершенствования строительной индустрии. Решение задачи индустриализации строительства и связанных с ней задач максимального повышения производительности труда, снижения стоимости и сокращения сроков работ возможно лишь при широком внедрении новых прогрессивных конструкций и способов производства работ, обеспечивающих более эффективное использование материалов, применение сборного железобетона и комплексной механизации технологических процессов.

На данный момент времени в России широко используются зарубежные копровые установки для забивки свай. Она предназначена для установки свай в вертикальное положение и их погружения в грунт. Как правило, копровые установки выполняются в виде самоходных строительных машин на гусеничном ходу. Для погружения сваи в грунт копровая установка использует свайный молот либо вибропогружатель.

Следует отметить основные достоинства сваебойных установок, а именно:

- высокая производительность за смену;
- высокая проходимость за счет гусеничного хода;
- экологичность;
- возможность регулирования силы удара в зависимости от состояния грунтов;
- погружение свай в городской черте без разрушительного воздействия на ближайшие строения;

- высокая эргономичность и устойчивость за счет низкого центра тяжести.

Погруженные в грунт сваи предназначены для повышения несущей способности слабых грунтов и устройства фундамента, передавая нагрузку от здания своими концами на скальный грунт или за счет трения грунта по боковой поверхности сваи.

Для распределения нагрузки на основание возводимых элементов сооружения сваи связывают между собой в конструкцию – ростверк. Для этого необходимо подготовить головы свай к сопряжению с ростверком для совместной работы конструкции путем срубki голов свай до проектной отметки.

Раньше срубка оголовков свай проводилась вручную при помощи отбойных молотков. Но это тяжелый физический труд, к тому же требующий длительного времени. В среднем один человек может оббить порядка 12-15 свай за один рабочий день, но если брать в учет огромный объем работы, то цена за срубку оголовка свай получится очень высокой. Изживший себя метод срубki оголовков свай отбойными молотками уступает дорогу технологии безударной срубki оголовков свай. Применение обрубki свай гидравлическим способом во многих факторах даст фору традиционному способу работы отбойными молотками. Безударная технология уже подразумевает полное отсутствие какого-либо разрушающего динамического воздействия на сваю. Срубка осуществляется при помощи специальной насадки, представляющей из себя литой, либо сборный металлический каркас, оснащенный гидравлическими цилиндрами.

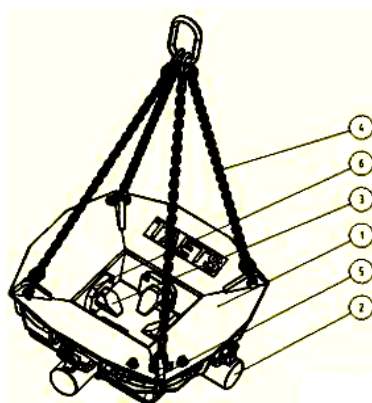


Рис.1 Машина для срубki голов свай.

1.Рама корпуса. 2. Гидроцилиндр 4шт. 3. Режущий клин. 4.Цепи подвеса.5.Разъемы подключения к гидросистеме. 6. Направляющая режущего клина.



Рис.2 Устройство для срубки голов свай TAETS 4.4 .

Насадка является одним из видов навесного оборудования к экскаватору, а рабочие цилиндры приводятся в движение гидравликой.

При надевании насадки на сваю, гидравлические цилиндры сдавливают бетон в проектной отметке, и происходит ровный разлом оголовка сваи. Далее, не разжимая цилиндры, экскаватор производит подъем насадки вверх и отколотый бетон снимается с прутков арматуры. Очень важным здесь является то, что арматура остается совершенно не поврежденной. В среднем расчетное время демонтажа одной квадратной сваи занимает не более 3-х минут. Простая конструкция позволяет эксплуатировать и обслуживать оборудования для срубки голов свай машинами экскаваторов, имеющие базовые навыки работы со спецтехникой.

Следует отметить очевидные преимущества безударной технологии:

- высокая скорость производства работ;
- бесшумность работ;
- отсутствие воздействия, разрушающего бетон;
- получение неповрежденных арматурных выпусков.

Научно-технический прогресс не стоит на месте, создаются новые технологии, позволяющие увеличивать производительность труда и сокращать затраты. Данное оборудование для безударной срубке свай позволяет забыть об использовании отбойных молотков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ПРИ РАЗМОРАЖИВАНИИ ГРУНТОВ

Ю.В. Николенко, к.т.н.

Н.Н. Бабкина

Кафедра проектирования и строительства гражданских и промышленных сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 11719

Представлены результаты исследований эффективности применения химического комплексного реагента для размораживания мерзлых грунтов.

Ключевые слова: химические реагенты, грунты, влажность, температура, масса размороженного грунта.

С наступлением отрицательных температур значительно усложняется технология выполнения многих видов строительных работ, возрастает их себестоимость. Особенную трудность представляет разработка мерзлого грунта, так как до настоящего времени не имеется достаточно эффективных средств механизации, которые позволили бы выполнять рыхление, размельчение, транспортировку, укладку и уплотнение разработанного мерзлого грунта.

Из всех существующих способов наибольшее распространение получили механические способы рыхления, на которые приходится до 80% подготовки мерзлых грунтов к разработке. Это объясняется высокой степенью механизации работ, наличием достаточно производительного навесного оборудования для существующих строительных машин и возможностью разрушения грунта любой прочности.

Однако при всех достоинствах этот способ имеет недостаток: он не может применяться при переходе через подземные коммуникации, в стесненных условиях и т. п. Известно, что разрыхленный крупнокомковатый мерзлый грунт очень плохо уплотняется и не пригоден для обратных засыпок и возведения земляных сооружений. При этом количество мерзлого грунта не должно превышать 15% всего грунта засыпки.

Оттаивание мерзлых грунтов огнем, паром, горячей водой, электричеством – очень энергоемкие и дорогостоящие способы, поэтому применяются лишь для подготовки к разработке небольших объемов грунта и при наличии соответствующих условий.

Большинство существующих способов подготовки мерзлых грунтов к разработке малопродуктивны и дорогостоящи. Анализ трудозатрат на подготовку мерзлых грунтов к разработке показал, что по сравнению с механическими методами применение химического способа требует в

1,5-3 раза, а по сравнению с другими в 6-12 раз меньше трудозатрат (чел.-час).

Сущность химического способа заключается в том, чтобы заполнить поровое пространство грунта водными растворами низкотемпературных химических реагентов (солей). Это достигается инфильтрацией растворов, как с поверхности, так и через щели, борозды и т. п.

Химический способ имеет ряд преимуществ: простота технологических приемов обработки грунтов; возможность производства работ как на открытых больших площадях, так и в стесненных условиях; сравнительно небольшие трудозатраты; возможность выполнения всего комплекса земляных работ; отсутствие необходимости в применении специальной строительной техники.

При химическом методе размораживания грунтов могут быть использованы: хлорид кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; хлорид натрия NaCl ; хлорид кальция CaCl_2 ; хлорид калия KCl ; нитраты кальция и натрия $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и NaNO_3 , а также нитрит-нитраты натрия и кальция.

Последние исследования сотрудников Института общей и неорганической химии имени Курнакова РАН установили достаточно эффективную химическую композицию, состоящую из солей нитратов кальция и магния ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), имеющую эвтектическую температуру равную минус 34°C .

Применение хлоридов не получило широкого распространения кроме как для борьбы с гололедом на автодорогах. Причина – большое коррозионное воздействие на строительные машины, а также на материалы и изделия, находящиеся в грунте.

Применение нитратов и нитрит-нитратов не вызывают отрицательного воздействия на окружающую среду, строительные конструкции, инженерные сети и другие коммуникации.

Размораживание растворами химических реагентов (электролитами) непосредственно зависит от впитывающей способности мерзлых грунтов. Учеными-почвоведомы установлено, что интенсивность водопроницаемости мерзлого грунта зависит от степени его увлажнения – чем выше влажность грунта, тем водопроницаемость ниже и наоборот, переувлажненный мерзлый грунт совершенно не проницаем для талых вод. Мерзлый грунт с влажностью меньше максимальной его влагоемкости водопроницаем в канальцах, пустотах, а мерзлый не насыщенный водой грунт хорошо водопроницаем.

Следовательно, если вместо воды использовать растворы электролитов, имеющих более низкие температуры замерзания, то инфильтрация их мерзлыми грунтами будет проходить также при более низких температурах.

До настоящего времени еще не имеется достаточно обоснованных рекомендаций по наиболее эффективным способам применения химических реагентов для размораживания грунтов. Поэтому целью настоящих исследований явилось установление влияния различных факторов на эффективность действия раствора химической композиции солей нитратов кальция и магния ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$).

Работы выполняли в следующей последовательности.

Предварительно высушенный подмосковный суглинок массой 700 г. увлажняли до влажности 5, 10, 15 процентов от массы грунта, тщательно перемешивали, а затем послойно с уплотнением укладывали в пластмассовые емкости размером $16 \times 10 \times 7$ см.

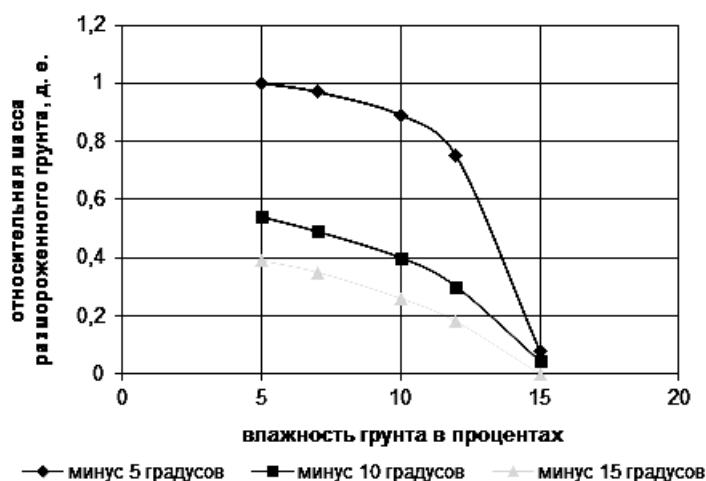
Емкости с грунтом помещали в холодильную камеру и выдерживали при температурах минус 5°C , минус 10°C , и минус 15°C более 24 часов с таким расчетом, чтобы грунт по всему объему имел постоянную температуру, равной температуре воздуха в камере. Количество образцов было не менее трех на каждые температуру и влажность.

После установления постоянной по всему объему температуры грунтовых образцов на поверхность их разливали 20% водный раствор химического реагента в количестве равным 20 мл. Соли нитратов кальция и магния брались в соотношении 1:1, что позволило получить эвтектическую температуру равной минус 34°C .

Через 48 часов из обработанных емкостей выбирали размороженный грунт и взвешивали его. Оставшийся мерзлый грунт обрабатывали повторно таким же раствором и в том же количестве и оставляли в холодильной камере более 24 -36 часов. Затем вторично выбирался размороженный грунт, определялась его масса.

Результаты экспериментов приведены на графике

Зависимость относительной массы размороженного грунта от влажности и температуры



Анализ результатов лабораторных экспериментов показал, что наиболее эффективно 20-ти процентный раствор электролита размораживает грунт при температуре минус 5°C и влажности не более 12% (относительная масса размороженного грунта равная 0,5). При температуре минус 15°C и влажностью грунта более 10% размораживающая способность резко уменьшается. Это можно объяснить тем, что 20-ти процентный раствор электролита имеет в своем составе кроме связанной и рыхлосвязанной воды еще и лед. Инфильтрация раствора с поверхности образцов легко происходит во влагоненасыщенных грунтах с влажностью 5 -7%. При влажности равной или превышающей наибольшую полевую влагоемкость инфильтрация резко снижается, что и показали проведенные эксперименты.

Для проверки эффективности действия солей $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ были проведены натурные испытания. Обработаны были два участка: первый - после уборки снега с его поверхности обработан сухим реагентом с расходом 5 кг на один квадратный метр, другой после уборки снега с поверхности был обработан 20-ти процентным раствором этих же солей. Через пять дней проверили воздействие химических реагентов. Первый участок разморожен на глубину 60 - см, второй – на глубину 30 см.

Была проведена повторная обработка второго участка с тем же расходом и через неделю определили глубину размороженного грунта. Первый участок разморожен на всю глубину, а второй – на глубину 60 – 70 см. Проведенный анализ результатов показал, что на втором участке было недостаточное количество реагента, чтобы полностью его разморозить.

Таким образом применение 20-ти процентного раствора композиции $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ эффективно до температуры минус 12 - 15°C и влажностью грунта не выше полной полевой влагоемкости. Применение сухого реагента оказалось более эффективным, но требует дополнительных исследований.

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИСОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Ю.В. Николенко *к.т.н.*

А.М. Абдулина

Кафедра проектирования и строительства гражданских и промышленных сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 11719

В работе представлены результаты экспериментальных исследований составов гипсовых композиций и предложены эмпирические математические модели, которые могут быть использованы при проектировании гипсовых составов

Ключевые слова: гипс, водогипсовое отношение, относительная прочность, суперпластификатор.

В нашей стране основным минеральным вяжущим в производстве строительных материалов и изделий является портландцемент, применение которого составляет более 80% от общего объема минеральных вяжущих. Поэтому кирпичные и панельные дома имеют среднюю приведенную массу соответственно 2,5 и 2,0 т/м² общей площади, а в развитых странах эта цифра не превышает 1,0 т/м². Кроме того производство портландцемента и бетонных и железобетонных изделий требует больших энергозатрат. Удельная цементоемкость отечественного жилья превышает этот показатель других развитых стран.

Применение материалов на основе гипсовых композиций позволит частично решить эти проблемы, так как они отличаются пониженной плотностью, тепло-и звукопроводностью, экологической безопасностью, огне- и пожаростойкостью и создают благоприятный микроклимат в помещениях.

Строительные изделия и конструкции из гипсовых композиций по несущей способности не смогут заменить изделия на основе портландцемента. Однако они в состоянии существенно снизить цементоемкость строительства при возведении малоэтажных зданий, стеновых самонесущих конструкций многоэтажных каркасных и бескаркасных зданий.

Существуют добавки, позволяющие управлять различными свойствами материала, а также составы для пропитки гипса и изделий из него. Необходимо отметить, что целенаправленно выбирать исходные материалы для назначения состава гипсовой композиции достаточно сложно. В нашей стране пока не существует официальных принципиально пригодных к применению правил проектирования гипсовых смесей и гипсовых строительных материалов, предназначенных для определенных целей.

Определить необходимое водогипсовое отношение и соответственно диаметр расплыва стандартного цилиндра без нескольких дополнительных замесов практически невозможно. Количество воды как для приготовления цементобетона (цементного раствора) так и гипсовых растворов всегда берется с избытком. Поэтому прочность природного гипсового камня составляет более 60 Мпа, а изготовленный искусственно 2 -10 Мпа. Причина – излишняя влага, которая испаряясь, оставляет после себя почти пустые капилляры и поры, что значительно понижает прочность гипсовых образцов. Для полной гидратации цемента водоцементное должно быть в пределах 0,2 – 0,24, для гипса – 0,186. Но в этом случае гипс трудно перемешать и он практически через 30 – 60 секунд становится влажным камнем.

В лаборатории РУДН были проведены исследования влияния водогипсового отношения на прочность и подвижность гипсового раствора, как без добавок, так и с введением в гипсовый раствор суперпластификатора С-3. Эксперименты проводились на образцах-балочках, имеющих размеры 4×4×16 см, которые испытывались на изгиб и сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 23789 – 79 «Вязущие гипсовые. Методы испытаний».

По результатам исследований после их обработки были построены математические модели. Относительный расплыв цилиндра в зависимости от водогипсового отношения можно описать следующим выражением.

$$D_{\text{отн}} = \frac{D_{p.ц}}{D_{p.ц.ст}} = 7,96\left(\frac{B}{\Gamma}\right)^5, \text{ д. е.} \quad (1)$$

где – $D_{\text{отн}}$ – относительный диаметр расплыва стандартного цилиндра; $D_{p.ц}$ - диаметр расплыва цилиндра при любом В/Г; $D_{p.ц.ст}$ – диаметр расплыва стандартного цилиндра, равный 180 ± 5 мм; В/Г – водогипсовое отношение, д. е.

Зависимость относительного диаметра расплыва цилиндра от водогипсового отношения и добавки суперпластификатора С-3 можно описать следующей эмпирической формулой.

$$D_{\text{отн}} = 7,96 \left(\frac{B}{\Gamma} \right)^{(5-1,66 \cdot K_{C-3})}, \text{ д. е.} \quad (2)$$

где – K_{C-3} количество суперпластификатора С-3 в процентах от массы гипса.

Как показали эксперименты в зависимости от состава гипса и его модификации (α или β) в формулах (1) и (2) изменяется коэффициент пропорциональности. Показатель степени водогипсового отношения не зависит от вида гипса, но зависит от количества (процента) добавки (K_{C-3}). Относительная прочность образцов из гипса, испытанных через 2 часа после затворения может быть представлена в виде следующего выражения.

$$R_{\text{отн}} = -2,876 - 11,806 \cdot \lg(K_{C-3}), \text{ д. е.} \quad (3).$$

Максимальная ошибка расчетов по этой формуле не превышает 5,1%, что меньше общей ошибки экспериментов.

Формулы (1 – 3) позволяют более точно и быстрее подбирать составы гипсовых растворов с уменьшением числа замесов, сокращая расходы гипса и добавок.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ КОРРОЗИИ

Харун Махмуд, к.т.н.

Кафедра проектирования и строительства промышленных и гражданских сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье представлены результаты исследования и оценки надежности подземных трубопроводов, подвергаемых опасности коррозии, а также краткий обзор и особенности способов ремонта трубопроводов, подвергаемых воздействию коррозии.

Ключевые слова: трубопровод, коррозия, надежность, ремонт.

Трубопроводные системы – неотъемлемая часть инфраструктуры современных городов. Они выполняют функции жизнеобеспечения и по совокупной массе перемещаемой продукции (питьевой и сточных вод, теплоносителей, газа, нефти) на несколько порядков превышают массу грузов, перевозимых традиционным транспортом. Только по этому показанию трубопроводные системы не имеют альтернативы. Однако из-за

неудовлетворительного состояния трубопроводы оказывают пагубное влияние на окружающую среду.

Любая жидкость, даже питьевая вода, протекающая по трубопроводу, может иметь агрессивные свойства. Зачастую это обусловлено обработкой воды хлором или процессами коагуляции и флокуляции, происходящими в воде непосредственно на станции водоподготовки. Агрессивность может быть обусловлена содержанием в воде кислорода, хлора, карбонатов и бикарбонатов [4, 5].

Коррозия трубопроводов – явление, обусловленное, главным образом, электрохимическими реакциями окисления металла при взаимодействии с влагой. Металл постепенно видоизменяется на ионном уровне и, распадаясь, исчезает с поверхности трубы. Окисление, характеризующее феномен коррозии металлических трубопроводов, может происходить по различным причинам и, следовательно, возникает на основе различных механизмов. Процесс окисления может зависеть от характера жидкости, протекающей по трубопроводу, или от свойств среды, в которой проложен трубопровод [1].

Появление дефектов в подземных трубопроводах представляет собой процесс, подчиняющийся законам теории вероятностей и математической статистики [5]. Закономерности формирования и распределения показателей надежности подземных трубопроводов от коррозионного воздействия мало изучены, что затрудняет решение задач эксплуатации существующей сети.

Для исследования надежности приняты подземные трубопроводы г. Уфа, где эксплуатируется более 2,5 тысяч километров подземных трубопроводов. Анализ результатов наблюдений показывает, что наибольшее количество коррозионных повреждений подземных трубопроводов относится к чугунным и стальным трубопроводам. Железобетонные трубы меньше подвергаются к коррозии, видимо, благодаря защитному бетонному слою арматурных сеток труб этого типа.

На основании статистических данных эксплуатации трубопроводов построен график распределения вероятности безотказной работы металлических труб (рис. 1).

Анализ графиков показывает, что повреждение трубопроводов, происходящее в период времени, сопоставимым с шагом наблюдений. Из этого можно делать вывод, что при отсутствии оперативного устранения повреждений, дефекты на этих участках трубопроводов усугубляются.

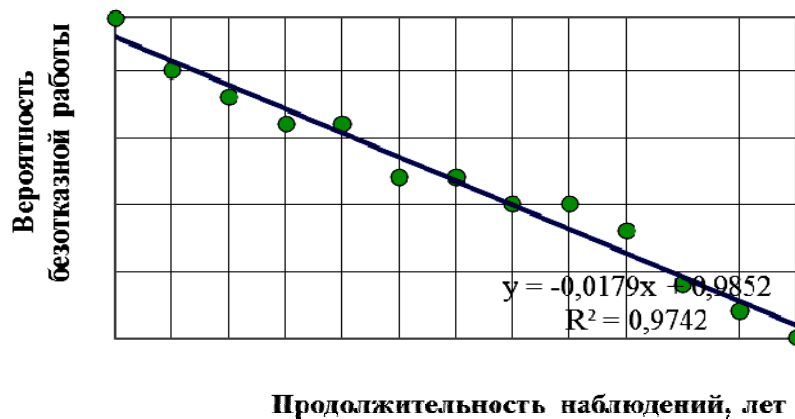


Рис. 1. Вероятность безотказной работы металлических труб

Существуют методы ремонта трубопроводов, в таких случаях [1, 2, 3]:

Метод вырезки, заключающийся в вырезке дефектных участков трубы, и врезке новых, хотя и является наиболее радикальным методом ремонта и до сих пор широко применяется в различных странах мира, имеет, однако, существенные недостатки, а именно: - требуется полная остановки перекачки продукта; - ремонтируемый участок трубопровода должен освобождаться от транспортируемого продукта с отводом ее по технологическим трубопроводам в специально отрытый котлован или в другой отвод. Если речь идет о нефтепроводе, то отвод нефти являются весьма трудоемкими, экологически небезопасными, влекут за собой последующую очистку грунта от нефтяных загрязнений и рекультивацию прилегающей территории. Реализация технологии ремонта вырезкой, как правило, связана со значительными затратами.

Технология фирмы Williamson предусматривает врезку в находящийся под давлением трубопровод обводной линии, охватывающей подлежащий ремонту участок. Внутри участка, охватываемого обводной линией, с обеих сторон устанавливаются узлы перекрытия. После перекрытия трубопровода жидкость движется по обводной линии, а участок между узлами перекрытия ремонтируется. По завершении ремонта перекрытие трубопровода снимается, а обводная линия демонтируется. Недостатком такой технологии вырезки является сложность, громоздкость и высокая стоимость применяемого оборудования, а также значительный объем сварочных работ на поверхности трубы, находящейся под давлением.

Способ и устройство для ремонта трубопровода *с помощью приварной муфты*. Приварная муфта приваривается к трубе герметизирующими

сварными кольцевыми швами. В процессе сварки напряженных труб в зоне сварки возникают остаточные (сварочные) напряжения, которые, складываясь с напряжениями от внутреннего давления, могут привести к образованию трещин. Они могут возникать как в процессе нагрева и кристаллизации металла, так и после остывания.

Метод релайнинг – метод восстановления поврежденных трубопроводов с помощью протяжки в поврежденную трубу полиэтиленовой трубы, т. е. "труба в трубе" (релайнинг). Этот способ используется для ремонта бестраншейным способом труб из стали, чугуна, бетона, железобетона, керамики, асбестоцемента, пластика. Этот способ наиболее экономичный и отлично зарекомендовал себя при работе в сложных гидрогеологических условиях, при непосредственной близости от ремонтируемого участка других коммуникаций, построек.

Метод напыления композиции «КРИТ» – способ ремонта трубопроводов при помощи цилиндрических стальных муфт с патрубками, устанавливаемых на дефектные участки трубопровода; в этом случае неприварная муфта (композитно-муфтовая технология) устанавливается вокруг поврежденной трубы (симметрично относительно дефекта) с кольцевым зазором, например, в 18 мм, чтобы скомпенсировать овальность трубы и муфты. После этого проводится герметизация торцов муфты. Кольцевой зазор заполняется композитным материалом на основе эпоксидной смолы, который сцепляется с трубой и муфтой, укрепляет поврежденную часть трубопровода и обеспечивает достаточно эффективную разгрузку трубы с дефектом.

Устройство для осуществления этого способа включает в себя цилиндрическую муфту, состоящую из двух полумуфт - нижней и верхней, которые соединяются между собой сварными швами при монтаже муфты на трубопровод. При этом сама муфта к трубопроводу не приваривается. Боковые кромки обеих полумуфт имеют разделку под сварку. Кроме муфты со сварным соединением полумуфт, может быть использована муфта с фланцевым соединением полумуфт, в этом случае соединение полумуфт проводится с помощью шпилек, стягивающих фланцы.

Муфты устанавливаются на ремонтируемую трубу, полностью охватывая ее. Затем обе полумуфты свариваются встык продольными швами с предварительной разделкой кромок. Внутренний диаметр муфты превышает внешний диаметр трубопровода на величину, достаточную для образования кольцевого зазора между ними.

В нижней полумуфте располагается входной стальной патрубок, предназначенный для подсоединения к нему гибкого шланга, по которому подается композитный материал.

В верхней полумуфте располагается выходной стальной патрубок. Кроме того, в самой муфте имеются контрольные отверстия, предназна-

ченные для выпуска воздуха и контроля уровня композитного материала при заливке. По мере заполнения муфты композитным материалом в контрольные отверстия ввинчиваются болты.

Кроме того, в обеих полумуфтах имеются резьбовые отверстия, в которые вворачиваются установочные болты, предназначенные для регулировки зазора между муфтой и трубой и выполняющие функцию опор при установке муфты на трубопровод.

Устройство работает следующим образом:

Свариваются между собой две половины стальной муфты, устанавливаемой на трубе симметрично по отношению к дефекту с кольцевым зазором. Допуск на величину кольцевого зазора позволяет ремонтировать трубопроводы с дефектами геометрии в поперечном сечении и изгибом продольной оси. Торцы муфты заполняются быстросхватывающимся герметиком. Образовавшийся объем между трубой и муфтой через входной патрубок в нижней полумуфте заполняется композитным материалом на основе эпоксидной смолы, затвердевающим до требуемой прочности в течение 24 часов.

Этот способ ремонта трубопровода обеспечивает ресурс и долговечность трубопровода на срок эксплуатации не менее срока службы бездефектного трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алиев Р.А., Березин И.В., Телегин Л.Г. и др. Сооружение и ремонт газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз. –М.: Недра, 1987. – 271с.
- [2] Березин В.Л., Ращепкин К.Е., Телегин Л.Г. и др. Капитальный ремонт магистральных трубопроводов. –М.:Недра, 1978. –364 с.
- [3] Гумеров А.Г., Зубаиров А.Г., Кекштейн М.Г. и др. Капитальный ремонт подземных нефтепроводов. –М.:Недра,1999. –524 с.
- [4] Свинцов А. П., Аль-Харамии Тами Хаиф. Применение резервуаров для повышения надежности тупиковых участков разветвленных сетей водоснабжения // Гидротехническое строительство. –2013. –№ 9. 47–51.
- [5] Свинцов А. П., Гусаков С. В., Рыбаков Ю. П., Аль-Харамии Тами Хаиф. Техническое состояние и оценка надежности трубопроводов сетей водоснабжения в городах Ирака // Водоснабжение и санитарная техника. –2012. –№ 12. 63–66.

Секция – 7
Гидравлики и гидротехнических сооружений

**ОБЪЕМЫ СТОКА ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ РАЙОНОВ
ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ДЕМАРКАЦИИ МАНАБИ (ЭКВАДОР)**

Кампос Седеньо Антонио Фермин (Эквадор)¹, аспирант

Е.К. Синиченко¹, к.т.н.

И.И. Грицук^{1,2}, к.т.н.

¹Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
Ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

²Институт водных проблем РАН
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

В данной работе сделан анализ многолетних рядов наблюдений метеорологических станций в провинции Манаби в период с 1963 по 2013 гг. В результате построены изолинии дождевых среднееголетних осадков и определены сток, избыток и дефицит воды, имеющие важное значение в области проектирования гидротехнических сооружений для системы водоснабжения.

Ключевые слова: гидрология, ортогональная регрессии, изолинии дождевых осадков, сток, избыток и дефицит водных ресурсов.

Анализ данных проводился по среднемесячным значениям 34 метеорологических станций, установленных в провинции Манаби и имеющих разные ряды календарных наблюдений. Институтом гидрологии и метеорологии Эквадора (INAMHI) предоставлены данные 14999 среднемесячных значений дождевых осадков по многолетним наблюдениям в период 1963 – 2013 годов.

Используя метод триангуляции, построены изолинии средних многолетних дождевых осадков провинции Манаби (рис. 2).

С помощью полученных изолиний, были определены среднегодовые объёмы осадков демаркации Манаби по гидрографическим бассейнам 5-ого порядка.

Однако на формирование стока рек влияют различные факторы такие как, склон, расположение, форма, плотность притоков, озера и т.д. [1, 3, 6].

Помимо приведенных выше факторов, также на объем стока влияют: дефицит влаги в почве, уровень грунтовых вод, величина снежного по-

крова, залесенность и распаханность бассейнов, урбанизация территорий и т.д. [4].

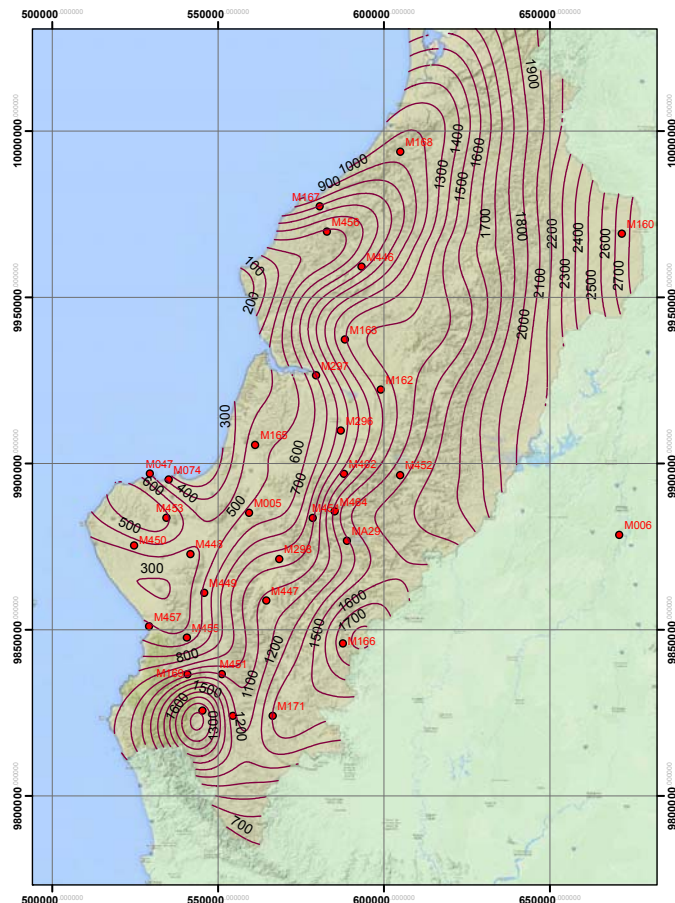


Рис. 1. Изолинии средних многолетних дождевых осадков (мм), 1963 – 2013 гг.

Для определения стока использован метод, разработанный в США Службой охраны почв (U.S. Soil Conservation Service) [4, 7]. При расчете необходимо:

- 1) присвоить бассейну определённый номер кривой стока (CN) (номер по шкале от нуля до 100), по типу почвы и растительного покрова;
- 2) определить слой поверхностного стока, который ожидается в бассейне, после интенсивного и длительного дождя.

Существует 4 группы почв:

- группа А (с минимальным потенциалом стока) - мощные пласты песка с небольшим количеством суглинка или глины;
- группа В - большинство песчаных почв, менее мощные пласты, чем в группе А.
- группа С - почвы, содержащие много глины и коллоидов;
- группа D (с максимальным потенциалом стока) - грунт глина, увеличивающая свой объем при увлажнении.

Для определения поверхностного стока Службой охраны почв США, используется эмпирическая формула, полученная на основе натуральных данных:

$$Q = \frac{(P-0,2S)}{P+0,8S},$$

Q - поверхностный сток, мм;

P - дождевой сток, мм;

S - разница между P и Q, мм.

Номер кривой стока (CN) определяется по формуле:

$$CN = \frac{25400}{254+S},$$

откуда

$$S = \frac{25400}{CN} - 254.$$

Формула объема поверхностного стока (годового стока):

$$V_c = \frac{QA}{1000000} \text{ [млн. м}^3\text{]}$$

Q - годовой сток, м;

A - площадь водосборного бассейна, м².

Модуль стока:

$$q = \frac{V_c}{AT} \text{ [л/с-км}^2\text{]}$$

A - площадь водосборного бассейна, км²;

T - время, с.

На основе карт землепользования и растительного покрова Эквадора, предоставленных MAG, PCA и CLIRSEN, была разработана карта номеров кривых стока (CN) гидрографической демаркации Манаби, по которой, согласно методике Службы охраны почв (SCS), определен среднегодовой сток для каждого бассейна.

Считая равномерным месячное распределение потребностей воды на орошение, водоснабжение и гидроэнергетику [5] и проценты распределе-

ния среднемесячных осадков, определены общие значения избытка и дефицита воды для гидрографической демаркации Манаби (таблица 1, рис. 2).

Таблица 1

Избыток/дефицит воды гидрографической демаркации Манаби

Месяц	Потребности (млн.м3/год)	Сток (млн.м3/год)	Избыток (млн.м3/год)	Дефицит (млн.м3/год)
дек	199.08	481.92	282.84	-
январь	199.08	1,575.83	1,376.75	-
февраль	199.08	2,113.66	1,914.59	-
март	199.08	2,174.28	1,975.20	-
апрель	199.08	1,623.09	1,424.01	-
май	199.08	713.05	513.97	-
июнь	199.08	311.88	112.80	-
июль	199.08	160.07	-	39.01
август	199.08	92.50	-	106.58
сентябрь	199.08	126.50	-	72.58
октябрь	199.08	124.18	-	74.90
ноябрь	199.08	161.87	-	37.21
ИТОГ	2,388.93	9,658.83	7,600.17	330.27

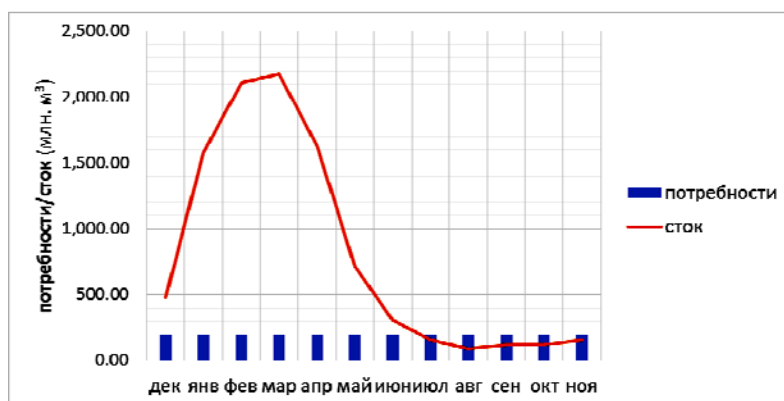


Рис. 2. Месячное распределение потребностей/стока воды

ВЫВОДЫ

1. Впервые подсчитан среднегодовой объем осадков демаркации Манаби, составляющий 10 480,95 млн. м³.
2. Впервые подсчитан среднегодовой объем стока от осадков демаркации Манаби, составляющий 9 658,83 млн. м³.
3. С одной стороны, среднегодовой объем воды для удовлетворения потребностей составляет 2 388,93 млн. м³, с другой, годовой объем стока

– 9 658,83 млн. м³, то есть, превышает потребностей на 304%. С первого взгляда можно подумать, что нет дефицита, но на самом деле существует годовой дефицит 330,27 млн. м³ из-за чрезвычайного неравномерного распределения стока особенно в период засушливого сезона (июнь – ноябрь), когда процент месячного распределения понижается до 0,96% в августе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Орлов В.Г. Основы физической гидрографии (Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1979), с. 58-63.
- [2] Румянцев В.К., Гидрологические расчеты в гидротехническом строительстве (Москва: Издательство Российского университета дружбы народов, 1992).
- [3] Синиченко Е.К. Характеристики водного режима малых рек, активного фактора русловых процессов (УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ имени ПАТРИСА ЛУМУМБЫ, 1984), с. 181.
- [4] Bureau of Reclamation USA, Design of small dams (Madrid: Editorial DOSSAT, 1970), pp. 433-36.
- [5] Centro de Rehabilitacion de Manabí, INERHI, CONADE, & OEA, 'Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí (PHIMA)', (Manabí - Ecuador: Centro de Rehabilitación de Manabí, 1989).
- [6] Chereque Morán Wendor, Hidrología para estudiantes de ingeniería civil (Lima: 1989).
- [7] Department of Agriculture United States, 'USDA Natural Resources Conservation Service Soils'2015) <<http://www.nrcs.usda.gov/>> [Accessed 03.03 2015].
- [8] Fernando Valdivieso., Hidrología - Apuntes (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010).
- [9] Secretaría de Gestión de Riesgos, 'Anuarios Meteorológicos'2014) <<http://186.42.174.231/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>> [Accessed 19.11.2014 Secretaría de Gestión de Riesgos].

ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ И ЦЕМЕНТАЦИИ НАКЛОННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-УСАДОЧНЫХ ШВОВ ВЫСОКИХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

Э.С. Аргал, *д.т.н.*

Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Приводится методика определения напряжения в основании наклонного столба плотины с учётом его взаимодействия со вторым столбом. Даются рекомендации по цементации таких швов

Ключевые слова: цементация швов, раскрытие наклонного шва, прогиб столба.

При столбчатой разрезке облегчённых плотин цементируемые температурно-усадочные (временные) швы, например между массивной частью оголовка и стенкой контрфорса, могут быть наклонными, как это было в Андижанской плотине высотой 115,5 м (рис. 1).

Специфика возведения таких плотин заключается в том, что по мере роста первого столба вследствие его наклона в нём могут возникнуть растягивающие напряжения со стороны напорной грани, а прогиб верхней части столба может достигнуть больших значений. В результате этого строительный шов между наклонным и следующим столбами может практически закрыться.

На рис. 2 представлены графики напряжений в основании отдельно стоящего наклонного столба плотины и прогиба его верха под действием собственного веса в зависимости от высоты возведения этого столба. Из рассмотрения графиков видно, что если ограничить допустимые напряжения значениями 0 или $-0,1$ МПа, то высота столба не должна превышать соответственно 11,7 и 14,9 м. При этом прогиб верха столба составит 0,13 и 0,24 мм.

Однако возможны и такие условия, когда вследствие включения в работу второго столба, соприкоснувшегося с первым, прогиб и растягивающие напряжения в первом столбе уменьшатся.

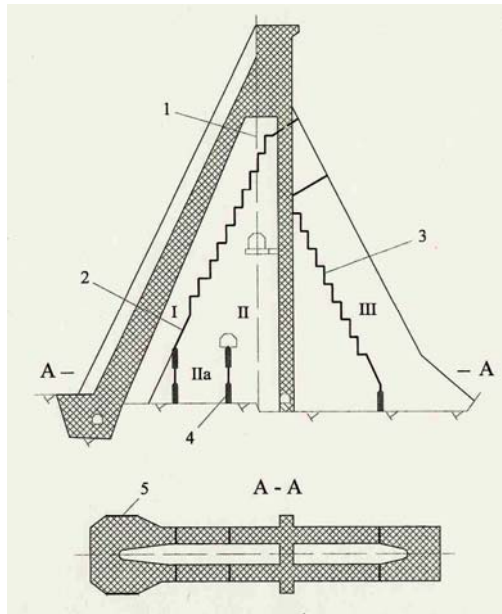


Рис. 1. Температурно-усадочные швы Андижанской плотины:
 1 - ось плотины; межстолбчатые швы: 2 - наклонные; 3 - ступенчатые; 4 - бетонизируемые; 5 - межсекционные деформационные швы; I, II, III - бетонные элементы (столбы) плотины.

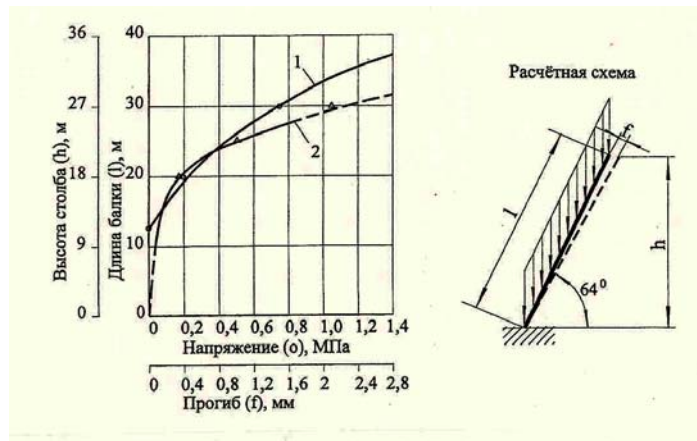


Рис. 2. Напряжения в основании наклонного столба (балки-консоли) и прогиб его верха:
 1 - напряжения; 2 - прогиб.

На рис. 3 приведены графики, по которым можно определить напряжения в основании наклонного столба с учётом его взаимодействия со вторым столбом. Степень взаимодействия столбов зависит от прогиба наклонного столба до момента его соприкосновения со вторым столбом. При этом фактическое раскрытие шва будет уменьшено на величину прогиба первого столба по сравнению с расчётным (обусловленным только температурно-усадочными процессами в бетонной кладке). Когда прогиб верха отдельно стоящего наклонного столба становится равным расчётному раскрытию шва или превышает его, шов фактически закрывается и столбы соприкасаются.

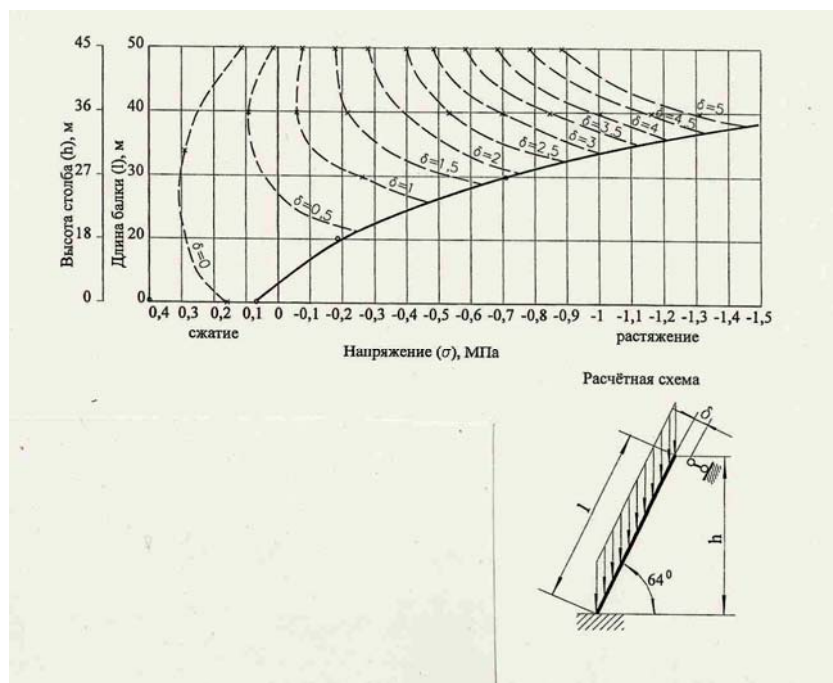


Рис. 3. Напряжения в основании наклонного столба I с учётом его взаимодействия со вторым столбом:
 δ - прогиб столба до момента его соприкосновения со вторым столбом. При $f \geq \delta$, $\delta = \delta_T$, где f - прогиб верха столба (рис. 2), δ_T - теоретическое раскрытие шва.

Первый столб до соприкосновения со вторым деформируется как свободная консоль, а после соприкосновения оба столба работают совмест-

но. На графике эти два этапа отражены соответственно отрезками сплошных и пунктирных линий. (В расчётах принималось, что прогиб второго столба при опирании на него первого незначителен и им можно пренебречь).

Из рассмотрения графиков видно, что если шов на уровне верха первого столба в данный момент времени ещё не раскрылся (бетон не остыл), а следовательно отсутствует и прогиб верха первого столба, то он может быть возведён на высоту более 45 м, при этом в его нижней части не будет растягивающих напряжений, а сжимающие будут составлять 0,1-0,3 МПа. Закрывание наклонного шва за счёт прогиба первого столба при таких условиях будет незначительным 4, так при высоте столба 45 м оно составит около 0,6 мм.

Если же расчётное раскрытие шва в верхней части наклонного столба на данный момент времени равно 0,5 мм (из графика видно, что при высоте столба около 19 м такой шов совсем закрыт, то есть первый и второй столбы соприкасаются), то при высоте столба от 12 до 26 м в его основании будут растягивающие напряжения, достигающие максимального значения 0,2 МПа при высоте столба 19 м. При возведении столба на высоту более 26 м при тех же условиях (раскрытие шва 0,5 мм) в его основании будут только сжимающие напряжения, которые достигнут 0,02 МПа при высоте столба 45 м.

Таким образом, по мере возведения столба растягивающие напряжения в его основании возрастают до максимального значения, соответствующего критической высоте столба и зависящего от расчётного раскрытия шва на данный момент. При дальнейшем росте столба эти напряжения (при постоянном расчётном раскрытии шва) существенно снижаются.

Исходя из вышеизложенного, можно наметить несколько направлений проведения специальных мероприятий по уменьшению напряжений в основании наклонного столба при возведении плотины.

Первое направление – бетонирование столба отдельными участками небольшой высоты с последующим охлаждением бетонной кладки и цементацией шва до начала бетонирования вышележащего участка. Темпы возведения плотины в этом случае можно повысить организацией круглогодичной цементации швов, для чего потребуются интенсивное искусственное охлаждение бетонной кладки, применение теплоизоляции для стабилизации термического режима бетона и т.п.

Второе направление – уменьшение расчётного раскрытия шва на уровне верха первого столба в период, когда наклонный шов не зацементирован. Наилучшими будут, очевидно, условия, когда такое раскрытие полностью отсутствует и столб может быть возведён на значительную высоту без цементации шва. Достичь этого можно посредством поддер-

жания высокой температуры бетонной кладки в этой области и получения так называемого «тёплого пояса», повышающего суммарную жёсткость конструкции.

В том случае, когда проведение цементации всего наклонного шва к требуемому сроку невозможно по производственным условиям (например, из-за большого объёма работ), можно провести цементацию опорных карт, которые должны выбираться как можно ближе к вершине наклонного столба в области наиболее охлаждённого бетона. Наибольшее расстояние от опорной карты до верха столба не должно превышать 10-15 м (при допустимом напряжении 0-0,1 МПа).

Опорные карты следует цементировать при максимально допустимом давлении для получения дополнительного раскрытия шва. В этом случае представляется целесообразным нагнетать воду одновременно во все карты наклонного шва.

Третье направление – если ожидаемая высота наклонного столба к моменту охлаждения его верхней части равна или превышает критическую для данного раскрытия шва, то целесообразно возвести его к этому моменту на возможно большую высоту. Так, если в рассмотренном выше примере наклонный столб к моменту, когда расчётное раскрытие шва на уровне его верха достигнет 1,5 мм, будет возведён до высоты 45 м, то растягивающие напряжения в его основании будут такими же, как и при высоте 18 м (0,18 МПа), что значительно меньше напряжения, соответствующего критической высоте столба 26 м (0,63 МПа) для данного раскрытия шва.

Выбор того или иного из описанных выше способов возведения наклонного столба и цементации наклонного шва должен основываться на результатах анализа последовательности бетонирования столбов и блоков, интенсивности укладки бетона и его охлаждения с учётом конструктивных особенностей плотины, климатических условий района, возможности проведения специальных дополнительных мероприятий по стабилизации термического режима, необходимой интенсивности цементации швов.

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В СОВРЕМЕННОМ ПРОЕКТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КРУПНОГО ГИДРОУЗЛА

Л.Н. Рыжанкова, к.т.н.

Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Рассматриваются виды негативной нагрузки на природные условия Южной Якутии при строительстве Канкунского гидроузла и мероприятия по её снижению, предусмотренные в проекте.

Ключевые слова: гидроузел, оценка воздействия на окружающую среду, планируемые мероприятия, комплексный экологический мониторинг.

Республика Саха (Якутия) обладает богатейшим природно-ресурсным потенциалом и является одним из наиболее инвестиционно привлекательных российских регионов. Особенно значительным потенциалом в этом отношении обладает Южная Якутия.

Комплексное развитие Южной Якутии предполагает создание следующих объектов:

- Канкунская ГЭС (мощностью 1200 МВт);
- Эльконский горно-металлургический комбинат (добыча и обогащение урановой руды);
- Тарыннахский и Таежный ГОК, сгруппированные в Южно-Якутское горно-металлургическое объединение (добыча и переработка железной руды);
- Инаглинский угольный комплекс (производство коксового концентрата);
- Селигдарский горно-химический комбинат (добыча фосфорсодержащих руд и производство фосфатных удобрений);
- Якутский газоперерабатывающий и газохимический комплекс (переработка газа и получение продуктов газохимии и гелия).

Рассмотрим снижение негативной нагрузки на природные условия Южной Якутии в современном проекте строительства Канкунского гидроузла.

Канкунская ГЭС проектируется на реке Тимптон на границе Алданского и Нерюнгринского районов Республики Саха (Якутия). Река Тимптон в месте строительства ГЭС отвечает основным характеристикам водотока горного типа, на котором строительство и эксплуатация высоконапорных гидроэлектростанций может осуществляться при значительно

меньших экологических издержках по сравнению с ГЭС на равнинных реках или тепловыми электростанциями.

Прогнозируемые негативные явления при создании водохранилища:

➤ среднегодовое повышение температуры воздуха в районе ГЭС составит 1,5-2°C;

➤ влажность воздуха из-за образования незамерзающего участка в нижнем бьефе ГЭС повысится не более чем на 14%;

➤ зимой около 35 суток в районе ГЭС будет наблюдаться образование тумана;

➤ изменится гидрологический и гидрохимический режимы рек Тимптон и Алдан. В зимнее время в результате изъятия более 30% стока появятся незамерзающие полыньи в нижнем бьефе, длина полыньи непосредственно у плотины ГЭС может достигать 50-60 км. Полыньи будут оказывать утепляющий эффект, воздействуя на лед ниже по течению реки. В летнее время из-за появления плотины ГЭС произойдет сильное обмеление реки ниже плотины. В результате этих процессов будут нарушены условия для прохождения водного транспорта и лесосплава, водоснабжения населенных пунктов (бесперебойная работа водозаборных сооружений, поддержание санитарного качества воды на реке Алдан);

➤ в мировой практике известны случаи резкого усиления сейсмической активности и появления наведенной сейсмичности в момент заполнения водохранилищ при строительстве плотин и дамб. Участок створа проектируемой Канкунской ГЭС располагается в сейсмоопасной зоне с интенсивностью воздействий в 7 баллов по карте общего сейсмического районирования Российской Федерации. В настоящее время данный район весьма сейсмически активен: в радиусе 100 км от створа ежегодно фиксируется до 20-30-ти местных землетрясений, в том числе непосредственно под будущей плотиной;

➤ изменение условий обитания ихтиофауны в водохранилище при изменении характера водного объекта. Перекрытие путей миграции рыб в речную систему бассейна р.Тимптон. Потеря рыбохозяйственного значения участка реки Тимптон и его притоков в пределах зоны затопления в качестве мест нагула и нереста ценных и промысловых видов рыб. Суммарная годовая величина ущерба, наносимого рыбным запасам вследствие перекрытия русла реки Тимптон и возведения гидроузла -107,5 т промысловых видов рыб;

➤ в плане ущерба, наносимого окружающей среде, наиболее серьезным вопросом при строительстве Канкунской ГЭС станет судьба подземных тимптонских источников (родников пресной воды высокого качества с дебитом 860 тысяч кубометров в сутки). На левом берегу реки насчитывается около 50-ти отдельных мест выхода подземных вод. Зоны разгрузки составляют порядка 4 км;

➤ трансформация местообитаний азиатской дикуши (эндемика России, редкого, сокращающегося в численности спорадически распространенного вида, внесенного в Красную книгу Российской Федерации), гибель животных в зоне затопления, нарушение трофических, топических и иных связей в зооценозах, нерегламентированная добыча животных промысловых видов (увеличение доступности угодий и браконьерство), гибель птиц от столкновения с проводами ЛЭП, затруднение миграционных переходов копытных;

➤ изъятие земель под площадки строительства и водохранилище общей площадью около 24769 га. Нарушение почвенного слоя при затоплении земель и при земляных работах на стройплощадках. Затопление и вырубка лесной растительности, в том числе и аянской ели, для которой река является географическим пограничным рубежом, и каменной березы.

Следует отметить, что климатические изменения коснутся незначительной территории – не более 5 км от водохранилища. Общий радиационный фон в районе строительства варьирует в допустимых пределах. Прогнозируется незначительное изменение минерализации воды Тимптона. Затопление ложа водохранилища не приведет к загрязнению вод тяжелыми металлами, нефтепродуктами и не изменит радиационной обстановки.

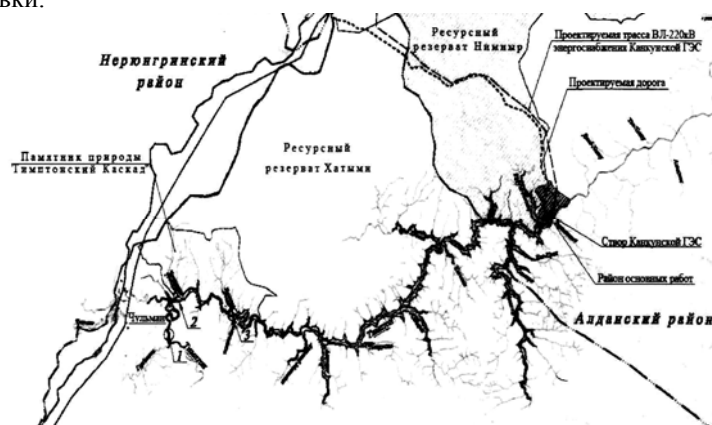


Рис. 1. Схема расположения объектов, попадающих в зоны влияния Канкунского водохранилища

В составе проектной документации на строительство Канкунской ГЭС разработан проект ОВОС (Оценки воздействия на окружающую среду). В проекте, кроме обычных мероприятий по снижению основных экологических последствий строительства и эксплуатации ГЭС, предусмотрены компенсационные мероприятия и создание системы комплексного экологического мониторинга.

К компенсационным мероприятиям относятся:

1. Организация питомника азиатской дикуши. Объем предусмотренных компенсационных средств составляет 61,3 млн.руб.

2. Охранные и биотехнические мероприятия (временный запрет охоты, спасение диких животных при начале наполнения водохранилища, усиление регуляции численности волка на побережье водохранилища, организация подкормки животных и отвлечение их от зоны ведения работ). Компенсационные средства, определенные как ущерб охотничье-промысловым видам животных - 155,64 млн.руб.

3. Стоимость компенсационных рыбохозяйственных мероприятий составляет 807,274 млн.руб. Основное направление компенсационных мероприятий - строительство рыбоводного завода по выпуску молоди сибирского осетра.

4. Разработанные технические и конструктивные параметры водозаборных сооружений в теле плотины (водоснабжение на агрегаты ГЭС) минимизируют воздействие на водные биологические ресурсы. Водозаборные окна запроектированы на глубине более 40м от УМО. На водозаборных сооружениях хозяйственно-питьевого водоснабжения предусмотрена установка типовых рыбозащитных устройств.

5. Мероприятия по сохранению краснокнижных видов растений. Благоустройство и озеленение территорий после строительства. Создание питомника ели аянской, стоимостью 1550 тыс.руб.

Система комплексного экологического мониторинга в районе Канкунской ГЭС подразумевает:

- создание сети геокриологического мониторинга;
- ведение мониторинга водных биологических ресурсов с первого года строительства объектов;
- организацию и проведение метеорологического мониторинга в зоне влияния водохранилища и нижнего бьефа гидроузла;
- мониторинг качества воды затрагиваемых водных объектов при строительстве и эксплуатации гидроузла;
- мониторинг почв и растительности;
- организацию и проведение мониторинга влияния гидростроительства на режим памятника природы «Тимптонский каскад».

Вмешательство в природу во всех сферах человеческой деятельности уже привело к тому, что водохранилища комплексных гидроузлов на многих территориях приходится рассматривать в качестве приобретенных природных ресурсов, подлежащих охране и экономному использованию. Сами гидротехнические комплексы создают реальные условия для активной защиты природы. Умелое использование этих возможностей является одной из важнейших задач нового строительства гидротехниче-

ских объектов, решение которой вполне возможно путем согласованных действий специалистов-гидротехников и экологов.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СИРИИ

Абдалвахаб Ясер, аспирант

Л.Н. Рыжанкова, к.т.н.

Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Для Сирии вода - исчерпаемый ресурс. Повысить обеспеченность страны водой призваны гидроузлы, эксплуатируемые в настоящее время. Однако, из общего объёма воды в водохранилищах Сирии 18966,052 млн. м³ фильтрационные потери достигают 5602,57 млн. м³, что совершенно недопустимо. Снижение фильтрации воды через тело плотин, основания и борта водохранилищ позволит улучшить водоснабжение имеющихся в стране потребностей в воде для жизни населения и для развития сельского хозяйства.

Ключевые слова: водообеспеченность, потребности в воде, водохранилище, гидроузел, фильтрационные потери.

Для развития Сирии - Арабской республики, находящейся на восточном берегу Средиземного моря, огромное значение имеют количество водных ресурсов и их распределение по территории.

Территория Сирии делится на семь водных бассейнов: Альярмук, Барада, Альсахель, Альаси, Альпадия, Евфрат, Альхабур (рис. 1). Распределение водных ресурсов Сирии по бассейнам приведено в табл. 1.

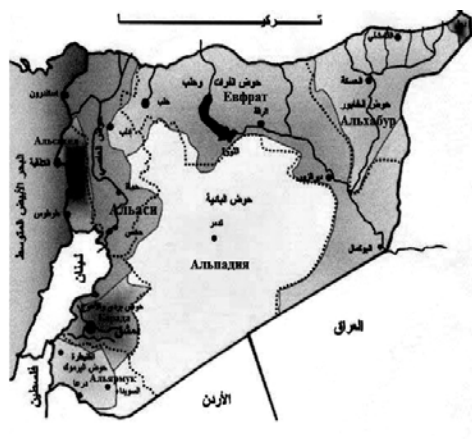


Рис. 1. Водные бассейны Сирии

Таблица 1

Распределение водных ресурсов Сирии по бассейнам

Бассейн		Средние осадки за год, мм	Среднегодовые объёмы водных ресурсов, млн. м ³		
Название	Площадь, км ²		поверхностных	подземных	общих
Барада	8630	266	20	830	850
Альясси	21630	315	110	1607	2717
Альсахел	5049	1308	1557	778	2235
Альпадия	21129	402	788	1600	2388
Евфрат	51238	209	7150	371	7476
Альярмук	6734	287	180	267	447
Альхабур	70786	138	163	180	343
Итого	185186		4296	5633	9929

На территории Сирии насчитывается 52 рек. Характеристики самых крупных приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значительные реки в Сирии

№ /п	Название	Длина реки на территории Сирии, км	Общая длина, км
1	Евфрат	610	2280
2	Хабур	402	477
3	Альжаржаб	26	78

4	Альзаркан	45	125
5	Альжагжа	100	124
6	Альблех	116	202
7	Альсажуур	27	122
8	Эль-Аси	366	485

Самые крупные естественные озера с пресной водой - Кутина, Аль-умк.

Созданы водохранилища на реки Евфрат: самое большое на ближнем востоке - Альасад (полный объем 14,163 км³), Ташрин (1,883 км³).

Климат Сирии засушливый, основная доля осадков (в виде дождя на равнинной территории и снега в горах) приходится на период с ноября по май. Выпадение осадков по территории Сирии характеризуется неравномерностью: 1300 мм в год на западе и 200 мм в год на востоке. Водное хозяйство Сирии обслуживает, в основном, следующие отрасли экономики:

- коммунально-бытовое хозяйство городов и других населенных пунктов (по состоянию на 2013 год в Сирии проживало 23 млн. чел.);
- промышленность (водоснабжение промышленных предприятий);
- сельское хозяйство (в 2008 г. в Сирии имелось 2 млн. га мелиорированных земель);
- гидроэнергетика - на реке Евфрат эксплуатируются четыре ГЭС общей мощностью 2941 МВт;
- рыбное хозяйство - разведение в водоемах и реках рыбы.

Сирия обладает благоприятным климатом, позволяющим получать не менее двух урожаев в год. Однако сельскохозяйственное производство осложняется нехваткой воды в вегетативный период. В результате снижаются площади орошения и производство сельскохозяйственной продукции.

Проблема дефицита воды в Сирии существовала всегда. Ранее её пытались решать за счет использования подземных вод. Было пробурено большое количество скважин. Вода, получаемая таким способом, шла на удовлетворение нужд населения, промышленности, сельского хозяйства. Однако вода подземных источников расходовалась нерационально, методы использования мощности имеющихся скважин, размещение и ввод эксплуатацию новых не был подчинен научно обоснованному плану использования и охраны вод. Все это привело к истощению водных источников, ухудшению качества воды.

К сожалению, для Сирии вода – не возобновляемый ресурс. Так как цель водной политики государства - удовлетворение всех имеющихся в стране потребностей в воде для жизни населения, развития сельского

хозяйства, необходимо добиваться максимального сокращения безвозвратных потерь воды, основной объём которых составляют потери воды из водохранилищ за счет испарения с водной поверхности и фильтрации.

Общие фильтрационные потери из водохранилищ Сирии достигают 5602,57 млн. м³/год, что составляет 29,54 % их полного объема (табл. 3).

Таблица 3

Фильтрационные потери из основных водохранилищ Сирии

Название бассейна	Число водохранилищ	Объем воды, млн. м ³	Средние фильтрационные потери воды	
			% от полного объема водохранилищ	млн. м ³
Альсахел	19	552,92	25	138,23
Евфрат	3	16136	27	4356,72
Альаси	42	947,72	42	409,38
Альхабур	12	1045,34	30	313,60
Барада	6	8,282	28	2,318
Альярмук	41	206,2	33	68,046
Альпадия	37	69,59	60	41,754
Итого	160	18966,052	29,54	5602,57

Для установления причин фильтрационных потерь рассмотрим гидроузел Афамия (рис. 2) в юго-восточной части бассейна р. Альгаб на западных склонах Афамия в Хамаской области на расстоянии 40 км от г. Хама. Гидроузел состоит из трех плотин Афамия: А, В, С. Основные параметры сооружений гидроузла приведены в таблице 4.

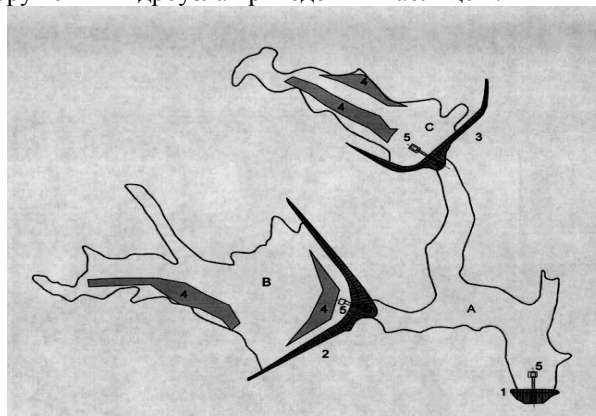


Рис. 2. Схема гидроузла Афамия:

1- плотина А; 2- плотина В; 3- плотина С; А- водохранилище А; В- водохранилище В; С- водохранилище С; 4- аномальные зоны; 5- водосброс

Таблица 4.

Характеристики сооружений гидроузла Афамя

Параметры ГТС	Афамя А	Афамя В	Афамя С
Тип плотины	Каменно-земляная с глинистым ядром		
Высота плотины, м	40,0	55,0	50,5
НПУ, м	240	280	280
УМО, м	205	243	242
Полный объем, 10^6 м^3	20,0	37,0	22,5
Мертвый объем, 10^6 м^3	0,45	0,95	0,5
Площадь при НПУ, 10^4 м^2	187	282	125
Площадь при УМО, 10^4 м^2	60,86	91,838	40,7

Основные фильтрационные потери происходят:

- через тело плотины В и ее основание;
- в правый борт водохранилища В;
- в вертикальной зоне вблизи плотины В;
- в вертикальной зоне вблизи плотины А;
- на левом берегу водохранилища С.

Причины потерь:

- быстрое наполнение водохранилищ за короткий период;
- высокая температура воздуха (летом до 48°C);
- низкий уровень подземных вод;
- использование при строительстве грунтовых плотин грунтов с высоким коэффициентом фильтрации;
- увеличение вследствие землетрясений трещиноватости грунтов основания.

Годовые фильтрационные потери из каждого водохранилища составляют 18,34 млн. м³, годовые фильтрационные потери из водохранилищ гидроузла 13,870 млн. м³.

Разработка и обоснований мероприятий по уменьшению фильтрационных потерь из водохранилищ для Сирии весьма актуальна.

Существующие в настоящее время способы снижения потерь воды на гидроузлах отличаются большим разнообразием. Необходимо разработать методику оптимизации противофильтрационных мероприятий, позволяющую принимать решения по сокращению фильтрационных потерь с учетом реальных инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрологических условий конкретных водохранилищ и/или ирригационных каналов и конструктивных особенностей гидротехнических сооружений гидроузлов, что позволит максимально снизить безвозвратные потери

воды и обеспечить водой сельское хозяйство, сделав доходы от него одной из основных статей в бюджете страны.

ЛЕДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ МОТЫГИНСКОЙ ГЭС

А.В. Штиль, аспирант

Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Одной из крупнейших рек в Восточной Сибири, протекающей по территории Красноярского края и Иркутской области, является Ангара, единственная вытекающая из Байкала и служащая самым крупным притоком Енисея. Ее протяженность 1853 км. Площадь бассейна составляет 468 000 км². А с учетом бассейна Байкала 1 045 000 км² [1].

По течению реки Ангара располагаются крупнейшие гидроузлы, образующие комплекс, называемый Ангарским каскад ГЭС. Он служит для обеспечения устойчивости энергосистемы Восточной Сибири, а также для обеспечения электроэнергией промышленных предприятий. Данные по существующим ступеням каскада представлены в таблице 1.

Таблица 1
Гидротехнические характеристики Ангарского каскада ГЭС

№	Название	Высота м	Напор м	Расход м ³ /с	Мощность МВт	Выработка млрд кВт·ч
1	Иркутская ГЭС	56	31	1920	662,4	4,1
2	Братская ГЭС	124,5	106	2814	4515	22,6
3	Усть-Илимская ГЭС	105	88	3200	3840	21,7
4	Богучанская ГЭС	96	65,5	3450	3000	17,6

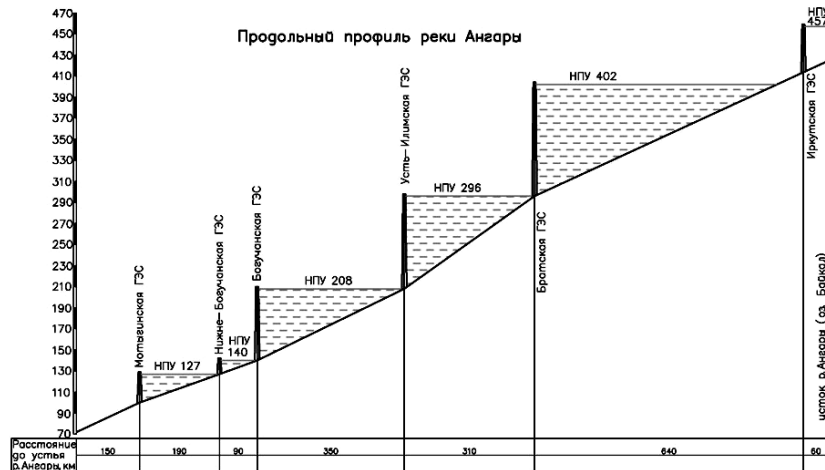
В качестве V ступени Ангарского комплекса гидротехнических сооружений запланировано строительство Мотыгинской ГЭС [2]. На текущий момент не решено, будет ли строиться Нижнебогучанская ГЭС, которая первоначально должна была служить вместо Мотыгинской ГЭС V ступенью каскада, предположительно располагающаяся между Богучанской и Мотыгинской ГЭС (рис. 1)

Рис. 1. Один из вариантов Ангарского каскада ГЭС

Потребность в строительстве гидротехнических сооружений в нижнем течении реки Ангара обосновано потребностью в энергоснабжении промышленных районов Нижнего Приангарья. Еще в 2009 году дефицит электроэнергии этих районов оценивался в размере 120 МВт, что сдерживает развитие промышленности в регионе [3].

В соответствии с данными «Маркетинговой стратегии Мотыгинской ГЭС» [4] в Сибирском федеральном округе планируется реализация большого перечня инвестиционных проектов. Значительная доля проектов Красноярского края концентрируется в районах Нижнего Приангарья. Таким образом, на Мотыгинский район ожидается прирост нагрузки около 430 МВт.

Проектируемая Мотыгинская ГЭС входит в базовый вариант перечня основных видов мощности в Сибирском федеральном округе в соответствии с разработанной Министерством Промышленности и энергетики



РФ «Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики».

Исходные данные Мотыгинской ГЭС и стройгенплан в Поликарповском створе [5] приведены в таблице 2 и на рисунке 2 соответственно.

Таблица 2

Данные Мотыгинской ГЭС

ФПУ	НПУ	Уровень, м					Расход, м³/с		
		▼НБ _{min}	▼НБ _{max}	Н _{max}	Н _{расч}	Н _{min}	Q _{ГЭС}	Q _{расч}	Q _{0,01%}
129	127	104,19	99,80	29,20	27,20	26,20	4740	19890	23100



Рис. 2. Стройгенплан Мотыгинской ГЭС в Поликарповском створе:

- 1 – водохранилище; 2 – плотина; 3 – ОРУ 220кВ; 4 – ВЛ 35кВ Мотыгино-ГЭС (25км);
5 – ВЛ 220кВ Раздолинск-ГЭС (35км); 6 – автодорога ГЭС-Мотыгино; 7 – причал.

Одной из особенностей Мотыгинской ГЭС является высокая зарегулированность стока вышерасположенными гидротехническими сооружениями Ангарского каскада ГЭС (Иркутская, Братская, Усть-Улимская и Богучанская). Максимальные расходы воды в створе Мотыгинского гидроузла определяются сбросами Богучанской ГЭС и незначительной боковой приточностью Ангары.

При отметке НПУ на 127м происходит существенное затопление верхнего бьефа. При этом расчетная площадь зеркала водохранилища составляет 470 км^2 , а емкость – $12,2 \text{ км}^3$. В свою очередь, такое наполнение вызовет существенный подъем воды в Мотыгинском водохранилище: в восточной части от 4м до 8м; центральной части от 12м до 15м; в западной части от 18м до 32м. Максимальные глубины на различных участках будут 8-22м, 12-19м, 19-36м. Ширина водохранилища изменится от, в среднем, 1,4-3км до 7км местами [6].

Вышеописанное способствует существенным изменениям температурно-влажностных характеристик микроклимата прилегающих к водохранилищу территорий. Изменения оказывают непосредственное влияние на процесс ледообразования не только в водохранилище, но и в нижнем бьефе. Вне зависимости от условий стока Ангары (естественного или зарегулированного), ее ледовый режим играет существенную роль в

оценке влияния на окружающую среду. Причинами этому служат как продолжительность отрицательных температур в регионе, так и образование ледовых затруднений по всему течению реки.

Строительство Мотыгинской ГЭС вызовет изменения ледовых режимов, в том числе существенные изменения в нижнем бьефе. В частности приведет к образованию полыни, нехарактерной естественному режиму реки Ангара. Изменения, главным образом, связаны с температурой воды, поступающей из верхнего бьефа (водохранилища) [7]. На участках, расположенных вне зоны влияния ГЭС (удаленных от плотины), условия формирования ледяного покрова не отличаются от естественных. А на участках, находящихся в непосредственной близости к гидротехническому сооружению (примыкающих к плотине), условия формирования ледяного покрова зависят напрямую от режима работы ГЭС. Данный участок может простираться более 100 км вниз по течению.

Образование приплотинной полыни способствует формированию зажоров льда [8], что в определенных случаях может происходить в течение всего зимнего периода. Вследствие формирования зажоров на участке нижнего бьефа Мотыгинской ГЭС возможен подъем уровня воды до 11 метров.

Наряду с катастрофическими последствиями, связанные с затоплением большой территории вследствие подъема уровня воды в нижнем бьефе ГЭС, стоит не менее важная проблема, связанная с береговыми деформациями.

При конвекционном снеготаянии (за счет теплых воздушных масс) наступает наиболее интенсивный период в плане размыва. Часто в этот момент грунт под снежным покровом еще находится в мерзлом состоянии и стекающие потоки не производят значительного размыва. Однако если происходит затопления территорий с берегами, то процесс оттаивания грунта происходит по-другому, поскольку кроме конвекционного добавляется условие наличия воды, температурой выше 0 градусов на поверхности.

В свою очередь были проведены эксперименты [9], в результате которых было доказано, что наличие осадков в виде дождя усиливает интенсивность процесса снеготаяния. А в результате инфильтрации грунта и высоких скоростей течения Ангара возможно активное оттаивание и вымывание частиц грунта, что ведет к деформации и обрушению берегов.

В материалах по проекту Мотыгинской ГЭС вопросу изменения ледовых режимов и их последствий не отведено должного внимания. Необходимо выполнить экспериментальное моделирование и исследования влияния изменений ледовых режимов в нижнем бьефе после строительства Мотыгинской ГЭС на береговые деформации. Особо важным этот вопрос является по причине развития промышленности в районе Нижне-

го Приангарья и возможных катастрофических последствий в результате разрушения берегов и затопления территорий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Всё об Ангаре. Сведения из энциклопедий и других источников – URL: <http://irkipedia.ru/content/angara> , 2015.
- [2] ГЭС на Нижней Ангаре – URL: <http://blog.rushydro.ru/?p=8081>, 2013.
- [3] Обоснование инвестиций в строительство Мотыгинской ГЭС на р. Ангаре. Оценка воздействия строительства гидроузла на окружающую среду (Окончательный вариант материалов после общественных обсуждений). 68-08-04-03-ОВОС. Книга 3. Резюме нетехнического характера – URL: http://www.gis.rushydro.ru/file/main/gis/projects/motyginskaya/OVOS_MoGES_Kniga-3.pdf , 2009.
- [4] Фонд энергетического развития – М., 2007.
- [5] Техничко-экономический доклад на обоснование строительства Мотыгинской ГЭС. Книга 1. Выбор площадки строительства. Раздел 1. Выбор створа ГЭС. №198.01.00.01-1Т/1 – Санкт-Петербург, 2006.
- [6] Техничко-экономический доклад на обоснование строительства Мотыгинской ГЭС. Книга 1. Выбор площадки строительства. №198.01.00.01-1ТК – Санкт-Петербург, 2006.
- [7] Шаталина И.Н., Трегуб Г.А. Ледовые проблемы строительства и эксплуатации гидротехических сооружений – Санкт-Петербург: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2013.
- [8] Готлиб Я.Н., Донченко Р.В., Пехович А.И., Соколов И.Н. Лед в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983.
- [9] И.И. Грицук, Е.И. Дебольская, В.К. Дебольский, О.Я. Масликова Лабораторное исследование влияния внешних воздействий на процесс таяния снежного покрова – Москва, ФГБУН Институт водных проблем РАН, 2014.

ВИЗУАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАНДШАФТНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ПАРКА «ЦАРИЦЫНО»

Т.С. Имомназаров (Россия)¹, студент.

¹Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
Ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.К. Синиченко

При проектировании обустройства не были учтены множество факторов, один из которых и самый важный - это очистка русла реки для нормально протокола воды. Продемонстрировано загрязнение русла реки строительным мусором, отходами, что приводит к потоплению и затоплению прилегающих территорий, т.е. пешеходных дорожек, пешеходных мостов.

Ключевые слова: гидрология, обустройство территории, сток, потопления и затопления прилегающих территорий.

Природно-исторический парк "Царицыно" (далее-парк) является охраняемой природной территорией регионального значения города Москвы, имеющая природоохранное, рекреационное, эколого-просветительское и историко-культурное значение как особо ценный, крупный и целостный природно-территориальный комплекс, отличающийся высоким природным разнообразием, наличием редких и уязвимых в условиях города видов растений и животных и благоприятными условиями для отдыха в природном окружении и образована согласно постановлению Правительства Москвы от 21 июля 1998 г. N 564 "О мерах по развитию территорий Природного комплекса Москвы".

Ежегодно проводится комплексное развитие парка «Царицыно», при этом в 2013 году началось строительство северо-восточной части территории парка, на примере которой мною проведено исследование.

По окончанию обустройства данного участка территории был выявлен комплекс нарушений, связанных с неправильными организационными работами по обустройству.

Основными выразительными нарушениями при строительстве парка являются:

- 1) незаконченное строительство;
- 2) отсутствие пешеходных переходов;
- 3) неправильная организация отвода стока поверхностных вод;
- 4) несоответствующее строительство мостов и пешеходных зон;
- 5) ненадлежащее размещение подземных инженерных сетей;

- 6) отсутствие работ по очистке русла реки;
- 7) отсутствие архитектурной выразительности.

На обустроенной территории были выявлены неубранные остатки материалов, неправильно уложены сопряжения пешеходной дороги с мостом, не утрамбованные зоны (рис.1), что может привести к травмоопасности отдыхающих на этой территории.



Рис.1. Незаконченное строительство.

Отсутствие пешеходных переходов (рис.2), на данном участке территории может привести к событиям, связанным с ДТП.



Рис.2. Отсутствие пешеходных переходов.



Рис.3. Неправильная организация отвода стока поверхностных вод.

Неправильная организация отвода стока поверхностных вод (рис.3), а именно, отсутствие водоотводящих открытых и закрытых систем, привело к размыву пешеходной зоны дороги, размыву откосов и последующему намыванию земли на пешеходные дороги и холмистых пересечённых оврагами местностях.

На данном участке были построены три пешеходных моста и все они построены с нарушением строительных норм и правил. На пешеходных мостах отсутствует сопряжение дороги с мостом, опоры стояк моста неправильно запроектированы и находятся в непригодном состоянии и требуют капитального ремонта (рис.4).



Рис.4. Несоответствующее строительство мостов и пешеходных зон.

По все территории участка имеются колодцы, сточные отводные трубы, которые неправильно закреплены, у большинства колодцев отсутствуют канализационные крышки. Сточные трубы имеют массовые повреждения, разрушения, что может привести к экологическим последствиям в виде загрязнения территории (рис.5).



Рис.5. Ненадлежащее размещение подземных инженерных сетей

При проектировании обустройства не были учтены множество факторов, один из которых и самый важный - это очистка русла реки для нормально протокола воды. На (рис.5) продемонстрировано загрязнение русла реки строительным мусором, отходами, что приводит к потоплению и затоплению прилегающих территорий, т.е. пешеходных дорожек, пешеходных мостов.

Природно-исторический парк «Царицыно» был создан как один из красивейших архитектурно-ландшафтных проектов по повелению Екатерины II великим придворным архитектором Василием Баженовым, который учитывал все предпочтения императрицы, используя готический и мавританский стили. При дальнейшем благоустройстве и поддержании данного природного комплекса необходимо учитывать его историческую значимость и ценность для последующих поколений. Однако согласно моему следованию, проводимые строительные мероприятия не соответствуют заданному проекту и не отвечают действующим нормам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Имомназаров Т.С., РохасМартинесХ.Ф..«Лабораторные исследования воздействия антропогенного фактора на свободную поверхность водотока». Сборник научных статей студентов и аспирантов – победителей международных, всероссийских и университетских конкурсов. Москва РУДН 2014 г., стр 93 – 99. [ImomnazarovT.S., RojasMartinezJ.F., «Laboratornoeissledovanievozdeystviyaantropogenovofaktoranavobodnuyupoverhnostivodotoka». Sborniknauchnihstateystudentoviaspirantov.Moskva RUDN., 2014 g., str. 93-99.]
- [2] ШтеренлихтД.В. Гидравлика: Учебникдлявузов. 3 - еизд., перераб. идоп. - М.: Колос, 2004.[SherenlihtD.V.Gidravlika: Uchebnikdlyavuzov 3 – eizd., pererab. I dop.- M. Kolos, 2004].

Секция – 8 Науки о Земле

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПЕРМО-ТРИАСОВОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНО-ПРЕДКАВКАЗСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРОЖАЙНЕНСКОГО)

Е.В. Зубкова¹, *старший преподаватель*

А.Ю. Нестеров¹, *студент*

1 – Кафедра МПИ и их разведки им. В.М. Крейтера
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Восточное Предкавказье является одним из основных нефтегазодобывающих районов на юге России. Эффективное поддержание и увеличение здесь уровня добычи углеводородного сырья становится возможным лишь при постоянном обобщении и анализе геологического материала, накапливаемого в процессе проведения геологоразведочных работ, открытия и ввода в разработку новых месторождений. Пермо-триасовый нефтегазоносный комплекс - один из основных объектов промышленной разработки на территории платформенной части Восточного Предкавказья, более 2/3 ресурсов углеводородного сырья в котором пока не освоено. В настоящее время в разрезе пермо-триасовых отложений платформенной части Восточного Предкавказья открыты 51 нефтяная, газоконденсатная, нефтегазоконденсатная залежи. Установленные скопления углеводородов распределены по площади изучаемой территории крайне неравномерно - подавляющее большинство их расположено в пределах Величаевско-Максимокумского вала, Восточно-Манычского прогиба и Таловской ступени.

Промышленная нефтегазоносность в разрезе пермо-триасовых отложений на территории Ставропольского края связана, в основном, с трещиновато-кавернозными карбонатными отложениями нефтекумской свиты поздне- пермско-раннетриасового возраста - 16 залежей нефти из 19 и только 3 залежи нефти - с терригенно-карбонатными отложениями среднего триаса (Величаевское, Совхозное, Северное).

В данной статье перспективы нефтегазоносности пермо-триасового комплекса Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области рассмотрены на примере месторождения Урожайненского.

В административном отношении Урожайненское месторождение находится в Левокумском районе Ставропольского края. В 5 км к северо-востоку от Урожайненского месторождения находится г. Нефтекумск –

районный центр Ставропольского края, расположенный в 85 км от железнодорожной станции Буденновск, на автодороге Буденновск-Кизляр. Ближайшими нефтяными месторождениями являются Острогорское (5 км юго-восточнее), Северо Урожайненское (2.5 км северо-западнее).

На Урожайненском месторождении осадочный чехол представлен палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Геологический разрез изучен по данным бурения, материалам геофизических исследований скважин и результатам интерпретации сейсморазведочных работ на Урожайненском месторождении и на соседних площадях. В разрезе Урожайненского месторождения выделяются три структурных этажа.

Первый структурный этаж региона слагают породы фундамента, характеризующиеся дислоцированностью и метаморфизованностью. Отложения осложнены широтными и субмеридианальными нарушениями, которые обуславливают блоковое строение фундамента. Породы имеют палеозойский возраст.

Второй структурный этаж региона представлен катаплатформенным комплексом пород пермо-триасового возраста. Этот комплекс выполняет отрицательные формы рельефа фундамента и характеризуется резкой изменчивостью толщин слагающих его отложений. Для него также характерны большие углы крыльев структур и частые стратиграфические несогласия.

Корреляция юрско-пермтриасового интервала является достаточно сложной и неоднозначной, что характерно для всего Восточного Предкавказья, в первую очередь, по причине геологического строения этой части разреза. Представленный карбонатными, терригенными и вулканогенными породами триаса, залегающими друг на друге со значительными стратиграфическими несогласиями, а также терригенными породами юры, несогласно залегающими на размытой поверхности триаса, разрез практически невозможно коррелировать по данным ГИС без привлечения результатов отбора керн и результатов сейсморазведки. Для ряда скважин сложность выделения подсчетных объектов и стратиграфических интервалов усугубляется недостаточным комплексом ГИС и недостаточным (отсутствующим) керном.

Одной из базовых границ, которая использовалась как опорная, является подошва юрских отложений (граница размыва пермтриасовых отложений).

В составе комплекса пород пермо-триасового возраста на месторождении выделяется: нефтекумская свита (Tinf) залегающая на породах куманской свиты (P₂km) с локальными участками размывов. Разрез свиты представлен метаморфизованными, доломитизированными, плотны-

ми, крепкими, трещиноватыми известняками с углами падения слоев и зеркалами скольжения 45°. В известняках встречаются прослои темно-серых с зеленоватым оттенком аргиллитов и брахиоподы плохой сохранности. Толщина свиты по данным ГИС достигает 430 м (скважина 14).

Култайская свита (T_{1cl}) нижнетриасового возраста, залегающая выше, представлена серыми с коричневатым оттенком, коричневатобурыми, пестро-цветными, крепкими, плотными, слюдястыми известняками с прослоями темно-коричневых аргиллитов. Свита развита на площади не повсеместно, что, в общем, соответствует ее латеральной изменчивости в различных частях Прикумской нефтегазоносной области.

Отложения *демьяновской свиты* (T_{1dm}) нижнего триаса сложены аргиллитами серыми, слюдястыми с прослоями глинистых, красно-бурых известняков, серых мелкозернистых песчаников. Отложения по площади развиты не повсеместно. Максимальная толщина свиты составляет 90 м (скважина 19).

Средний отдел триаса представлен отложениями анизийского яруса (T_{2a}), развитых на юго-западном, северном и северо-восточном склонах Урожайненского поднятия.

Анизийский ярус представлен светло-серыми известняками с прослоями серых аргиллитов от темных до светлых оттенков с зеленоватым отливом. Максимальная вскрытая толщина отложений составляет 220 м (скважина 21).

Отложения *ногайской свиты* (условно верхний триас) с разрывом перекрывают породы нижнего и среднего триаса. Отложения ногайской свиты имеют более широкое распространение и вскрыты на Урожайненском месторождении 22 скважинами, полностью пройдены только в скважинах 3, 4, 23 и 55. Свита представлена, в основном, эффузивными породами с подчиненными прослоями туфов, туфопесчаников, песчаников. Максимальная вскрытая толщина ногайской свиты составляет 145 м (скважина 13).

Третий структурный этаж характеризуется более пологими структурами, и соответствует платформенному этапу развития региона и представлены от юрских до современных. Для платформенного этапа свойственно начало формирования антиклинальных поднятий, унаследованное развитие которых, продолжалось в юрское и меловое время. В целом для поднятий характерно их выполаживание вверх по разрезу до полного затухания в неогеновое время.

В тектоническом отношении Урожайненское месторождение расположено на западной оконечности Озек-Суатского поднятия, входящего в состав Прикумской системы поднятий. На формирование геологического строения месторождения оказывало влияние непосредственная близость его расположения на востоке с Кумским прогибом, также входящем в

состав Прикумской системы поднятий, и на севере, северо-востоке с Арзгирским прогибом, относящимся к Зоне Маньчских прогибов. Такое расположение отразилось на сложном геологическом строении и распределении углеводородных залежей Урожайненского месторождения.

Урожайненское месторождение расположено в Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области Северо-Кавказско-Мангышлакской нефтегазоносной провинции и относится к Прикумскому нефтегазоносному району.

На Урожайненском месторождении промышленная продуктивность установлена в меловом, юрском и пермо-триасовом нефтегазоносных комплексах и связана с пластом K_{2m} (маастрихтский ярус) верхнего мела, пластами $VII_1(J_1)$ и $VII_2(J_1)$ (тоарский ярус) нижней юры, пластами T_{1nf} (нефтекумская свита), T_{2+3} , T_{3nog} триаса. К вулканогенным породам ногайской свиты приурочена залежь газоконденсат.

Согласно типизации залежей пермо-триасового нефтегазоносного комплекса Восточного Предкавказья, составленной А.В. Серовым, Л.А. Серовой, 2000 г, Урожайненское месторождение относится к стратиграфическому классу, к группе: залежи в коллекторах, срезанных эрозией и перекрытых несогласно залегающими слоями непроницаемых пород, тип: останцовые месторождения. К этому же типу в Восточном Предкавказье также относятся месторождения: Зимняя Ставка, Пушкарское, Восточное, Безводненское и Таловское.

Вопрос о природе ловушек в известняках нефтекумской свиты остается дискуссионным. Одни исследователи считают, что залежи нефти морфологически связаны с эрозионными останцами известняков, расположенными в пределах крупных погребенных поднятий [2,3,5,6,7]. Другие, не отрицая роли эрозионно-денудационного фактора, относят массивы известняков нефтекумского возраста к рифовым постройкам [4, 8, 9], а также к "органогенным постройкам атоллоидного типа..." [15].

Исследованиями Е.Ю. Тумановой [12] установлено полифациальное строение нефтекумской карбонатной толщи с развитием биогермных и рифовых построек, что подтверждается данными сейсмических исследований в модификации 3D [11].

С учетом этих работ Серовым А.В. проведена типизация природных резервуаров и залежей УВ пермо-триасового нефтегазоносного комплекса согласно классификациям И.О. Брода [10] и А.А. Бакирова [1, 13, 14]. Преобладающими являются залежи структурного и стратиграфического классов в массивных природных резервуарах. Залежи в резервуарах пластового типа связаны с отложениями среднетриасового возраста. Менее распространены залежи литологического, рифогенного и литолого-стратиграфического классов.

Сохранность залежей нефти в карбонатных отложениях нефтекумской

свиты обеспечивается глинистыми и карбонатно-глинистыми горизонтами кизлярской, демьяновской и култайской свит, а также глинистой покрывкой ранне-среднеюрского возраста в зонах отсутствия флюидоупоров триасового возраста. Покрывками для залежей среднего триаса, в большинстве случаев, являются одновозрастные с продуктивными горизонтами непроницаемые литологические разности пород анизийского и ладинского ярусов. Менее распространены покрывки ногайского и раннеюрского возраста.

Таким образом, стратиграфический диапазон приуроченности промышленных скоплений нефти, газа и нефтегазопроявлений в разрезе пермо-триасового комплекса весьма широк. Приурочены они к терригенным и трещиновато-кавернозным карбонатным горизонтам ранне-, средне- и поздне-триасового возраста. Пермо-триасовый нефтегазоносный комплекс характеризуется не равномерным распространением в пределах области, что подтверждают данные о геологическом строении месторождения Урожайненское. Комплексу свойственна большая эрозия и высокая дислоцированность разреза. Основные нефтяные залежи открыты в восточной части Прикумского нефтегазоносного района, а месторождение Урожайненское находится в центральной части района.

Продуктивными, в основном, являются мощные массивные трещинно-кавернозные известняки нефтекумской свиты нижнего триаса. Чаще всего нефтяные залежи приурочены к размытой кровельной части нефтекумской свиты. Залежи массивные, стратиграфически экранированные, покрывкой являются спорадически развитые глинистые горизонты в основании юрских или собственно средне-нижнетриасовых отложений. Размеры залежей, как правило, небольшие.

Отложения среднего триаса характеризуются ограниченной продуктивностью. Небольшие пластово-сводовые скопления нефти и газоконденсата выявлены на востоке Восточно-Предкавказской области (Озерная, Сухокумская, Южно-Буйнакская площади) в повсеместно развитом трещинно-поровом известняке анизийского яруса.

Предполагаемый очаг нефтегазогенерации находится в пределах наиболее погруженной части зоны Маньчских прогибов северу от месторождения Урожайненское). С помощью установленной зависимости величины отражательной способности витринита от глубины погружения отложено определено положение верхней и нижней границы ГЗН, а при нанесении этих границ на график погружения отложений устанавливаются и временные рамки проявления ГФН. Установлено, что нефтегазоматеринские породы раннетриасового возраста погрузились в главную зону нефтеобразования не позднее раннемеловой эпохи, а вышли из нее - в раннемиоценовую [16]. Продолжительность пребывания в ГЗН оценивается примерно в 107 млн. лет. Комплекс пород среднетриасового возраста

испытал погружение на глубину, соответствующую верхней границе ГЗН намного позже - в раннеолигоценое время. Нижняя граница ГЗН была пройдена не позднее раннего плиоцена (время пребывания в ГЗН «31 млн. лет»). Таким образом, при использовании историко-геохимического метода определения времени формирования скоплений углеводородов установлено, что скопления нефти в отложениях пермо-триасового комплекса пород могли образоваться не ранее раннемеловой эпохи. Определение времени формирования залежей УВ данным методом может быть достоверными, по мнению И.В. Высоцкого, "... лишь при условии, что ловушки, концентрировавшие жидкие УВ, образовались именно в период наиболее активной генерации жидких УВ или раньше, но если они не были заполнены газом верхней газогенной зоны..."

На современном этапе геологического развития изучаемой территории пермо-триасовые отложения погружены на значительную глубину и находятся в основном в пределах ГЗГ. Указанное обстоятельство оказывает существенное влияние на особенности продолжающейся генерации углеводородов органическим веществом пермо-триасовых отложений.

Основная зона развития пород с преобразованностью ОВ до этапа МК₃ приурочена к Довсунскому и, частично, Кумскому прогибам и захватывает обрамляющие эти прогибы Петропавловское поднятие (южный склон) и Ачикулакский вал (северный борт).

Вторая по размерам зона расположена в районе сочленения Озек-Суатского поднятия с Арзгирским прогибом и юго-восточным окончанием Величаевско-Максимокумского вала. Таким образом можно сделать заключение о том что нефтегазоматеринская порода находится в «нефтяном окне» или ГФН, а наличие газоконденсатной залежи в вулканогенных породах ногайской свиты месторождения Урожайненское свидетельствует о близости стадии МК₄.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бакиров А.А. Классификация локальных и региональных скоплений нефти и газа в земной коре // Доклады советских геологов на XXII сессии Международного геологического конгресса (Дели). Геология нефти. - М., 1964.-С. 141-153
- [2] Копылов Н.Т., Туртуков Г.Я., Савельева Л.М. Методика разведки залежей нефти в отложениях переходного комплекса Восточного Предкавказья // Перспективы нефтегазоносности переходного комплекса молодых платформ. - М., 1985. - С. 123-137.
- [3] Ликов А.Г., Пушкарский Н.Г., Шапошников В.М. Особенности строения ловушек и залежей нефти в нефтекумской свите Восточного Ставрополя // Нефтегаз. геол., геофиз. и бурение. - 1985.- № 12. - С. 4-6.
- [4] О новом направлении поисково-разведочных работ на нефть и газ в Восточном Предкавказье в связи с поисками рифов в триасовых отложе-

- ниях / А.С. Горкушин, Н.Ф. Фролов, В.В. Стасенков и др. // Геология нефти и газа. - 1974. - № 7. - С. 11-17.
- [5] Перспективы поисков литолого-стратиграфических залежей нефти и газа в пермо-триасовых залежах Восточного Предкавказья / В.В. Стасенков, А.И. Летавин, Н.Т. Копылов, Л.М. Савельева, Ф.Г. Шарафутдинов, Д.А. Мирзоев // Геология нефти и газа. - 1983. - № 5. - С. 23-27.
- [6] Триасовые отложения Южного Мангышлака и Восточного Предкавказья / М.М. Алиев, Л.В. Алексеева, К.В. Виноградова, Е.А. Гофман // Стратиграфия и литология нефтегазоносных отложений молодых платформ СССР; Тр. ИГиРГИ. - М., 1979. - Вып. 21. - С. 3-9.
- [7] Туртуков Г.Я., Копылов Н.Т., Пыленков Б.Н. Типы ловушек и залежей в карбонатных отложениях нефтекумской свиты Восточного Предкавказья // Геология и нефтегазоносность Северо-Восточного Кавказа; Тр. Сев-КавНИПИнефть. - Грозный, 1984. - Вып. 41. - С. 91-96.
- [8] Условия залегания пермо-триасового комплекса Восточного Предкавказья / Н.Т. Копылов, Н.А. Крылов, А.И. Летавин, Г.Н. Чепак // Геология нефти и газа. - 1976. - № 2. - С. 68-71.
- [9] Чепак Г.Н., Горкушин А.С. Литология и нефтегазоносность нижнетриасового карбонатного комплекса Прикумского района // Перспективы нефтегазоносности переходного комплекса молодых платформ. - М., 1985. - С. 109-115.
- [10] Брод И.О. Залежи нефти и газа. - М.: Гостоптехиздат, 1951. - 340 с.
- [11] Эффективность пространственной сейсморазведки в Восточном Предкавказье / З.С. Воцалевский, С.С. Говоров, В.И. Шленкин, М.О. Джабраилов, Я. А. Ройтман // Геология нефти и газа. - 1991. - № 1. - С. 29-33.
- [12] Туманова Е.Ю. Литолого-фациальные, палеогеографические и структурные критерии нефтегазоносности верхнепермских-нижнетриасовых отложений Восточного Предкавказья: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук: 04.00.17. - Ставрополь, 1998. - 26 с.
- [13] Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. / А.А. Бакиров, Э.А. Бакиров, В.С. Мелик-Пашаев, Г.Т. Юдин; Под ред. А.А. Бакирова. - М.: Высш. шк., 1976. - 416 с.
- [14] Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. / А.А. Бакиров, Э.А. Бакиров, В.С. Мелик-Пашаев и др.; Под ред. А.А. Бакирова. - М.: Высш. шк., 1987.-384 с.
- [15] Юдин Г.Т. Зоны нефтегазонакопления Предкавказья. — М.: Наука, 1977.-86 с.
- [16] Серов А.В. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности пермо-триасового комплекса восточного предкавказья.

Секция 9 Нефтепромысловая геология, горное и нефтегазовое дело

ПРОБЛЕМЫ ПРИ БУРЕНИИ ПОДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА УГЛЕВОДОРОДЫ

А.Е.Воробьев, д.т.н.

А.С. Каукунова, аспирант

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов,
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрены возможные риски при бурении скважин в соляных пластах и их окрестностях, связанные с подвижностью солей. Описаны выходы при бурении из соляного пласта и необходимость цементирования обсадной колонны по завершении бурения соляного интервала.

Ключевые слова: бурение, соляной пласт, риски при бурении, скважина, обсадная колонна.

Последний век ушедшего тысячелетия характеризуется все более возрастающим вмешательством человека в природную среду. Интенсивность техногенной нагрузки на недра увеличивается в связи с потребностями человечества в углеводородном сырье. Площади по производству буровых работ на нефть и газ, будучи важным народнохозяйственным объектом, в свою очередь являются источником повышенной опасности для окружающей среды.

Почти все продуктивные пласты на нефть и газ находятся под обширными мощными слоями соли. Слои соли сохраняют относительно низкую плотность, даже под весом других отложений. В настоящее время успешно функционируют технологии бурения, обеспечивающие проход сквозь толщи соли. Однако, в целях сохранения и улучшения как экологической, так и экономической обстановки нужно стремиться к уменьшению и предотвращению негативных последствий при разработке нефтегазовых месторождений с помощью существующих мер, внедрения новых технологий и путем наилучшего использования уже имеющихся технологических решений.

Бурение соляных отложений являет собой наглядный пример высокорискованной деятельности. С самого зарождения промышленной нефтедобычи характерной чертой отрасли была неопределенность, связанная с результатами бурения скважин. И, конечно же, с учетом высокой стоимости проектов, осуществляемых в данной отрасли и определенной неодно-

значности получаемых результатов, вопрос риска требует особого внимания.

Неопределенность и естественно сопутствующий ему риск в нефтяной отрасли происходят из того факта, что нефть и газ залегают глубоко в недрах земли.

К примеру, стоимость бурения одной поисковой скважины в значительной степени зависит от ее расположения и может варьироваться от менее 1 млн. долл. вблизи существующей инфраструктуры до более 100 млн. долл. в удаленной шельфовой зоне. При этом вероятность успеха всегда меньше 1.

Открытие нефтяных месторождений, сбор данных о залегании нефтяных пластов, свойствах нефти и сопутствующих флюидов, построение качественных геологических моделей зависят от умения интерпретировать информацию, полученную дистанционным методом. Риски нефтяных компаний присутствуют как на этапе поисково-разведочных работ, так и на последующих этапах оценки и разработки нефтяных месторождений. Предотвращение рисков при бурении скважин напрямую зависят от применяемой технологии в этом процессе.

Рассмотрим подробнее возможные риски при бурении скважин в соляных пластах и их окрестностях [1]:

- 1) Зоны аномально высокого пластового давления в осадках покровных и глыбовых фаций;
- 2) Зона дробления, сформированная ограниченным дренажем или тектоническими напряжениями;
- 3) Зона понижения давления в подсолевой толще;
- 4) Зона мобилизации соли под действием тектонического напряжения;
- 5) Возможная нагрузка на обсадную колонну из-за высокотемпературной соли;
- 6) Загрязненная соль: возможно сужение ствола в связи с наличием сильвиновых, полигалитовых или карналлитовых прослоев;
- 7) Неразличимая область солей с аномальным давлением;
- 8) Высокое давление в тонких пропластках и включениях.
- 9) Поглощение раствора в сильно трещиноватых покровных фациях;
- 10) Область тектонической неустойчивости;
- 11) Запрокинутое залегание пластов;
- 12) Ошибка в определении глубины залегания подошвы соленого пласта (неопределенность скоростной модели);
- 13) Осадки, захороненные в соленой толще;
- 14) Битуминовые прослои.

При проводке скважин через соляные отложения возникает множество проблем. В большинстве своем они связаны с подвижностью солей. Возможности визуализации соляных пластов весьма ограничены, и связанные с этим ошибки в прогнозировании глубин выхода из соляных пластов чреваты неожиданным попаданием в зоны повышенного или пониженного давления, как внутри толщи соли, так и под ней.

Для выхода из подошвы соляного пласта характерны все те же риски, что и для входа в его кровлю, и все по тем же причинам: предполагаемое распределение напряжений в окружающих формациях нарушается миграцией соляных масс. Выйдя из соли, можно сразу же попасть в зону дробления, не имея возможности заранее предсказать степень её трещиноватости, давление и наличие перевернутых пластов [2].

У большинства операторов глубоководных проектов в Мексиканском заливе уже приняты корпоративные регламенты выхода из соляных пластов. В целом, буровики стараются выбирать для выхода горизонтальные или минимально наклоненные участки подошвы пласта. Если же это оказывается невозможным, то угол между подошвой соляного пласта и осью ствола на выходе стараются выдерживать близко к 90° (рис. 1).

Примерно за 122 м до выбранной точки выхода из подошвы соляного пласта буровики снижают механическую скорость проходки до 12,2 м/ч. Одновременно отслеживаются и стабилизируются параметры бурения: крутящий момент, нагрузка на долото, температура на забое, эквивалентная циркуляционная плотность, вибрация и показания гамма-каротажа вблизи долота.

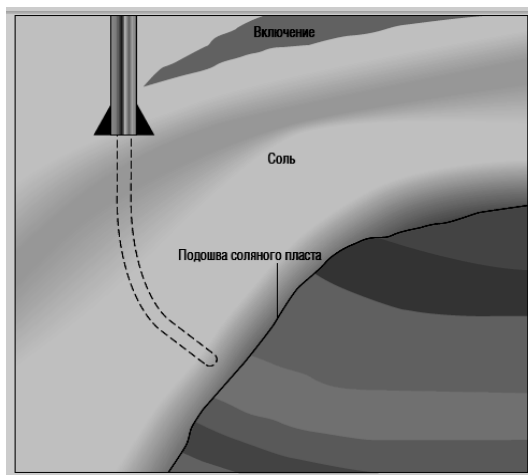


Рис. 1. Выход из соли

Самым удачным считается выход из соляного пласта в месте горизонтального расположения его подошвы. Однако такая возможность представляется не всегда, и тогда, как показано на рис., один из возможных вариантов состоит в наборе угла в самом соляном пласте, причем, так, чтобы в итоге угол между плоскостью подошвы пласта и осью ствола оказался как можно ближе к 90° .

На этом же этапе буровики в некоторых случаях повышают удельный вес бурового раствора и вводят в него материал для борьбы с поглощением бурового раствора (lost circulation material – LCM). Наиболее предпочтительные буровики также предпочитают держать наготове тот же материал, если поровое давление подсолевых формаций окажется ниже, чем у соляного пласта.

Как только изменение показателей бурения сигнализирует о выходе из подошвы соляного пласта, буровику следует вернуть долото в соляной интервал и провести испытание на приток. Наблюдения за объемом выходящего бурового раствора позволяют определить наличие выбросов или поглощений в подсолоевой зоне дробления. На следующем этапе подбирают длину свечи бурильных труб, в том числе используя трубы нестандартной длины, таким образом, чтобы далее бурить интервал на полную длину свечи бурильных труб без остановок на свинчивание труб. Затем продолжают бурить интервалы по 3–5 м, постоянно отслеживая забойные условия и периодически поднимая колонну обратно в соляной интервал для очистки ствола ниже долота и проверки объема бурового раствора.

Если наблюдения не выявляют признаков поглощения, высокого давления или обрушения стенок ствола, интервалы контролируемого бурения между проверками состояния забоя увеличивают до 5-9 м. Бурение в таком режиме продолжают вплоть до завершения проходки подсолоевого интервала длиной в две свечи – до 91 м. [2]

По завершении бурения соляного интервала необходимо спустить и зацементировать обсадную колонну. Однако и на этапе цементирования соль также оказывает свое негативное воздействие, создавая неравномерную нагрузку на обсадные трубы, что может в итоге привести к смятию колонны (рис. 2). Поэтому помимо разобщения интервалов и базовой структурообразующей функции – неперенных требований к цементному кольцу любой скважины – цементирование соляных интервалов должно обеспечивать равномерное распределение нагрузки, которая обязательно возникнет вследствие сползания соли. Цемент должен быть в достаточной степени устойчивым по отношению к изгибающим и растягивающим напряжениям, чтобы выдерживать давление и нагрузки на обсадную колонну в течение всего срока эксплуатации скважины. [3]

До недавнего времени опытные инженеры по цементированию традиционно использовали на длинных соляных интервалах соленасыщенные цементные растворы. Предполагалось, что они должны обеспечивать лучшее сцепление с породой, выдерживать химическое воздействие, сдерживать миграцию газа при спуске колонны и в меньшей степени растворять соляные отложения. Однако выяснилось, что при массовой концентрации более 18% по весу воды соль увеличивает время схватывания цементного раствора, снижает устойчивость к сжатию, а также способствует поглощению жидкостей и выделению воды. [4]

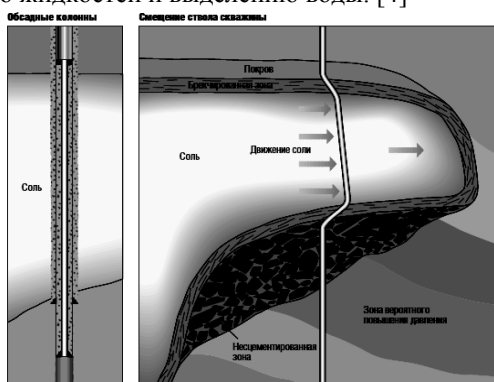


Рис.2. Цементирование интервалов в подвижных солях

Для противодействия неравномерной нагрузке на обсадную колонну со стороны сползающих соляных масс необходимо продавливать цементный раствор до кровли соляного пласта. В данном случае (слева на рис.) для защиты обсадных труб от радиальной деформации в зацементированную обсадную колонну был спущен хвостовик. По мере дальнейшего продвижения соли (справа на рис.) нагрузка на обсадную колонну может со временем привести к деформации труб, которую можно отсрочить при помощи качественного цементирования и использования труб увеличенных размеров с большей толщиной стенок.

И, тем не менее, эффективная разработка глубоководных месторождений с точки зрения объемов добычи и экономических показателей всё ещё остается нетривиальной задачей. При этом главным сдерживающим фактором для разработки подсолевых запасов остается ограниченная возможность получения достаточно точных изображений подошв соляных пластов и подсолевых формаций. Но в ответ на рост спроса на подобную точную визуализацию арсенал инновационных технических решений и способов интерпретации данных сейсморазведки за последнее время существенно расширился. Рано или поздно бурение на подсолевые пласты будет представляться не более сложной задачей, чем проводка

ствол в любых других отраженных на сейсмограммах переходных зонах сегодня. Это всего лишь вопрос времени.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Poiate E, Costa AM and Falcao JL: “Well Design for Drilling Through Thick Evaporite Layers in Santos Basin—Brazil,” paper IADC/SPE 99161, presented at the IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA, February 21–23, 2006.
- [2] Israel RR, D’Ambrosio P, Leavitt AD, Shaughnessey JM and Sanclemente J: “Challenges of Directional Drilling Through Salt in Deepwater Gulf of Mexico,” paper IADC/SPE 112669, presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, Orlando, Florida, March 4–6, 2008.
- [3] Bellabarba M, Bulte-Loyer H, Froelich B, Le Roy-Delage S, van Kuijk R, Zeroug S, Guillot D, Moroni N, Pastor S and Zanchi A: “Ensuring Zonal Isolation Beyond the Life of the Well,” *Oilfield Review* 20, no. 1 (Spring 2008): 18–31. В русском переводе: М. Беллабарба, Э. Бюльте-Лойе, Б. Фрелиш, С. Ле Руа-Делаж, Р. ван Кёйк, С. Зиру, Д. Гию, Н. Морони, С. Пастор и А. Занки: «Обеспечение эффективного разобщения пластов после окончания эксплуатации скважины», *Нефтегазовое обозрение*, том 20, № 1 (весна 2008 г.): 22–37.
- [4] Garzon R and Simmons B: “Deepwater Wells Drive Salt Cementing Advances,” *E&P* (May 2008): 99–101.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ МНОГОСТВОЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

А.Е. Воробьев, д.т.н.

А.С. Каукунова

Н.О. Сагын

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов,
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрены инновационные технологии бурения многоствольных горизонтальных скважин, а именно технологии бурения RapidTieBack и MLT – 3000. Приведены их основные параметры и преимущества.

Ключевые слова: технология бурения, многоствольная скважина, горизонтальная скважина, ствол

С целью оптимизации процесса эксплуатации, снижения затрат и извлечения максимума разведанных запасов, нефтегазодобывающие компании вскрывают продуктивные пласты многозабойными горизонталь-

ными скважинами, т.е. на бурение нескольких дренирующих скважин (ответвлений) от одного главного ствола. Технология бурения многоствольных горизонтальных скважин (МСГС) используется также при проведении повторного бурения в действующих скважинах. Существует технология бурения МСГС RapidTieBack.

Система бурения и заканчивания МСГС RapidTieBack использует вырезанные заранее в обсадной колонне и закрытые изнутри разбуриваемым патрубком окна для бурения из новых скважин близко расположенных друг к другу боковых ответвлений. Главное преимущество данной системы состоит в ее способности заканчивать до четырех (квадро) боковых скважин, пробуренных под прямым углом к основному стволу.

Квадросистемы RapidTieBack сконструированы так, чтобы можно было устанавливать сочленения внутри продуктивного пласта и бурить наклоненные под большими углами дренирующие скважины при помощи буровых агрегатов небольшого радиуса. Такую многозабойную систему можно устанавливать также над продуктивным пластом, что приводит к уменьшению скорости набора угла наклона скважины и величины бокового отклонения, снижая тем самым испытываемое сочленением напряжение.

Исключая необходимость проведения фрезеровочных работ, применение технологии заранее вырезанных окон обеспечивает быстрый и правильный выход из обсадной колонны. При этом удастся избавиться от металлической стружки и уменьшить риск повреждения обсадной колонны. Использование буровых долот с контролируемым диаметром скважины еще больше снижает риски при бурении через цементное кольцо и временный, заполненный уретаном, патрубок. Специально сконструированный промывочный инструмент с устройством ориентации сигнализирует о том, что профильные ниппели квадросистемы RapidTieBack в основной обсадной колонне не содержат никакого мусора

Квадросистемы RapidTieBack успешно использовались для строительства в скважинах с разогревом пара в Канаде и циклической стимуляцией паром (CSS) в Венесуэле. [1]

Технология строительства МСГС еще развивается и является источником получения экономической выгоды в нефтегазовой промышленности.

Также существует технология системы многоствольного бурения скважин MLT - 3000.

Как показывает практика внедрения новой технологии, в некоторых случаях существуют определенные технические характеристики, которые являются критическими при решении вопросов применения системы многоствольного бурения. В частности, и основная, и каждая из горизонтальных скважин должны иметь одинаковые возможности

доступа, целостность, управляемость (возможность регулирования процессов), вне зависимости от того, пробурены ли боковые стволы в новой скважине или в существующей ранее.

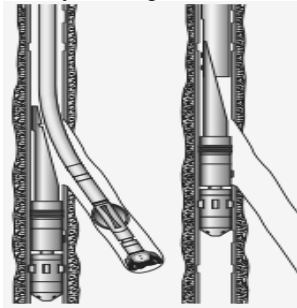


Рисунок 1. Бурение бокового ответвления

Основные параметры включают следующее:

- Возможность сочленения. Хвостовик латерали (бокового ствола) должен иметь обратное механическое соединение с обсадной колонной основной скважины.
- Изолированность. Узел сочленения бокового ствола с основной скважиной должен быть гидравлически изолирован от окружающих пластов (для требований контроля и дальнейшей изоляции бокового ствола).
- Доступ. Должна быть обеспечена возможность повторного доступа в любой выбранный боковой ствол без использования бурового станка.
- Возможность внедрения технологии многоствольного бурения. Система должна обеспечивать возможность бурения нескольких латеральных (боковых) стволов из одной общей скважины.
- Универсальность. Система должна быть применима и для заканчивания новых скважин, и для ремонта существующих скважин.
- Совместимость с цементированием хвостовика. Система должна обеспечивать цементирование жесткого хвостовика обсадной колонны.
- Совместимость с промывкой хвостовика. Система должна быть совместима с методами промывки, используемыми при спуске длинных хвостовиков в забой ствола скважины, например, с теми, которые используются для контроля содержания песка в буровом растворе.

- Контроль характера изменения притока. Система должна обеспечивать возможность полной или частичной изоляции боковых стволов в той степени, как это требуется для контроля характера изменения притока при эксплуатации скважины.

Все выше перечисленные характеристики считаются важнейшими и они полностью учтены в системе многоствольного бурения MLT - 3000.

Узел соединения горизонтального ствола и основной скважины запечатан специальным герметиком - материалом, который используется для изолирования боковых стволов друг от друга и от основной скважины. Герметик M-Seal обеспечивает высокую стойкость при сильных динамических воздействиях. Поскольку в системе обеспечивается независимый контроль каждого бокового ствола или части его, то при проведении работ каждый боковой ствол можно рассматривать как отдельную скважину. Изолированные боковые стволы позволяют обеспечить контроль нежелательных проявлений или притоков воды и газа. В обсадной колонне основной скважины можно установить также эксплуатационную НКТ, проходящую через узел соединения бокового ствола с основной скважиной, что в дальнейшем позволит обеспечить управление и контроль процесса эксплуатации.[2]

Технология разработанная компанией Halliburton MLT-3000 и квадросистема разработанной компанией Shlumberge RapidTieBack являются не просто признанной технологией, они есть существенные инструменты для разработки запасов углеводородов. В первой технологии предусмотрены одинаковые возможности доступа основной, и каждой из горизонтальных скважин, их целостность, возможность регулирования процессов, возможность сочленения и контроль характера изменения притока. Квадросистемы RapidTieBack можно использовать при разработке залежей тяжелой нефти, но их можно также применять при вскрытии продуктивных пластов многозбойными горизонтальными скважинами в условиях их низкой проницаемости, естественной трещиноватости и истощения с целью повышения производительности скважин и полноты извлечения запасов путем увеличения площади дренирования и снижения необходимой величины депрессии на пласт. Пусть данная технология считается новейшей, она все еще развивается, в дальнейшем рассматривают возможность использования квадросистем RapidTieBack не только для вскрытия залежей с тяжелой нефтью, но и для более сложных задач.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хосе Фрайя, Эрве Омер, Том Пулик: Новые подходы к строительству многоствольных горизонтальных скважин: статья из журнала «Ойлфилд Ревью», осень 2013г.

- [2] Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманова С.А.: Учеб. Для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2013г. 132-141стр.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА (ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАРУБЕЖНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ)

А.Е. Воробьев, д.т.н.

З.В. Лысенкова, к.г.н.

Кафедра нефтепромышленной геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрены тенденции развития мирового нефтегазового комплекса в современных экономических условиях. Особое внимание уделено применению новых технологий и профессиональной подготовке кадров в решении задач стратегического развития всех сегментов нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: нефтегазовый комплекс, тенденции развития, инновационные технологии, профессиональные кадры.

Нефтегазовый комплекс (НГК) как мира в целом, так и в отдельных странах, играет важную роль в экономике, обеспечивая потребности различных категорий потребителей в энергоресурсах, а также в технологическом сырье. Поэтому изучение современного состояния и тенденций развития НГК способствует пониманию процессов, происходящих в экономике мира, различных стран и регионов.

Развитие НГК происходит под влиянием внешних и внутренних факторов, которые, наряду со спецификой самого нефтегазового комплекса, определяют сложный состав задач, проблем и тенденций функционирования этого сектора экономики.

Одной из очевидных тенденций развития НГК является повышенное внимание к нетрадиционным углеводородам, в том числе – к сланцевому газу и синтезу жидких топлив из угольного метана (технология Gas to Liquids) [5]. Применение GTL-технологии относят к вызовам для рынка нефти после 2020 года, когда дальнейшее развитие методов переработки метана позволит снизить затраты на получение жидких топлив.

Считается [2, 5], что прирост добычи углеводородного сырья будет обеспечиваться, в основном, за счет применения новых технологий, что позволит активно осваивать месторождения глубоководного шельфа и Арктики, тяжелой нефти Канады и Венесуэлы, низкопроницаемые кол-

лекторы сланцевой нефти США, а также увеличить производство сжиженных газов. Реализация этих планов по разработке месторождений в сложных условиях обуславливает обострение такой проблемы, как обеспечение добычи нефти и газа современными буровыми установками. Дефицит этих установок относится к сдерживающим факторам развития НГК даже экономически развитых стран [3].

Решение проблемы технического обновления и расширения парка специального оборудования, в числе прочих, связано с необходимостью крупных инвестиций на всех стадиях освоения углеводородов – от добычи до глубокой переработки. При этом в ряде работ (например, [2]) отмечается, что нет четко выраженного предпочтения вложения инвестиций в какую-либо одну стадию этого процесса.

Технологические инновации в нефтегазовом производстве определяют возрастание потребностей не только в соответствующем оборудовании, но и в квалифицированных буровых бригадах непосредственно на промыслах. В целом, подготовка профессиональных кадров становится одной из важных тенденций развития нефтегазового комплекса.

Анализ рынка труда в нефтегазовой сфере [6] показал, что уровень занятости в нефтепереработке остается стабильным, что связано с такой выраженной тенденцией развития НГК, как сохранение роста спроса на дизельное топливо и на бензин. Проекты создания крупных нефтеперерабатывающих заводов и мощностей по производству сжиженного природного газа в Китае, Малайзии, странах Персидского залива и др. делают актуальным обучение современным технологиям в секторе downstream и в развивающихся странах, которые становятся всё более активными участниками на глобальном рынке углеводородов. Очевидно, что востребованной является и подготовка кадров для нужд нефте- и газодобычи, особенно с учетом специфики перспективных месторождений [5]. Современные требования обеспечения безопасности транспортировки и хранения углеводородов обуславливают необходимость повышения квалификации персонала и в этом сегменте нефтегазового комплекса во всех странах [4].

Подтверждением значения образовательной тенденции как важной составляющей в стратегии развития НГК как на национальном, так и корпоративном уровнях, является, например, опыт Норвегии [3] и компании BP [1].

В целом технологически ориентированные тенденции в развитии мирового нефтегазового комплекса соответствуют глобальной стратегии устойчивого развития, в котором особое внимание уделено экологическим аспектам и социальной ответственности бизнеса. «Дорожные карты» перспективных проектов по всей цепочке освоения углеводородов учитывают достижения в области ресурсосберегающих технологий,

обеспечения экологической безопасности функционирования объектов НГК. Интересно, что одной из тенденций стратегической деятельности крупных нефтедобывающих компаний становится развитие ими низкоуглеродных технологий, предусматривающих использование альтернативных источников энергии [1, 2].

Очевидно, что мировой экономический кризис и падение цен на нефть находят свое отражение в современном состоянии нефтегазового комплекса и вносит свои коррективы в планы его развития. Однако стратегически точное определение принципов и направлений решения различных проблем способствует преодолению кризисных явлений в НГК и переходу его на новый уровень своего развития.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мергс Дж.Э. Долгосрочная стратегия технологического развития компании BP // Форсайт, № 2 (6). 2008. – С. 13 – 17.
- [2] Aliyeva F. Top 10 Challenges in Oil and Gas Industry / Режим доступа <http://www.intelligenthq.com/latest-news/top-10-challenges-in-oil-and-gas-industry-in-2012/>
- [3] An industry for the future – Norway’s petroleum activities. Report to the Storting (white paper), 2011. - 172 p. / Режим доступа www.government.no
- [4] Godin M. Innovation Roadmap for Transmission Pipeline Transportation of Petroleum Products. Final Report. CEPA, 2014. – 119 p.
- [5] Kurth T. The Top Six Issues and Opportunities Facing the Oil and Gas Industry in 2013 / Режим доступа <http://www.oilgasmonitor.com/top-issues-opportunities-facing-oil-gas-industry-2013/4080/>
- [6] Minority and Female Employment in the Oil & Gas and Petrochemical Industries. American Petroleum Institute, 2014. – 73 p.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ШЕЛЬФОВЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»

А.С. Каукунова

А.В. Власова

И.Л. Капитонова

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены функциональные возможности тренажера по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II. Также описана

возможность применения тренажера морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная».

Ключевые слова: ликвидация аварий на шельфе, тренажер по отработке действий, современные технологии

В последнее время наметилась тенденция применения современных технологии в образовательном процессе. Основным преимуществом являются формирование у студентов необходимых знаний, умений и навыков. А именно, компьютерные тренажеры позволяют формировать навыки управления сложным технологическим процессом без выхода на реальную рабочую площадку и помогают формировать целостное представление о технологическом процессе.

С помощью тренажеров студенты могут решать следующие задачи:

- изучать устройство оборудования, теорию технологического процесса и формировать навык работы с пультами управления;
- анализировать возможные причины возникновения дефектов в результате действий на конкретном рабочем месте и осваивать способы их предупреждения;
- изучать сценарии аварийных ситуаций и отрабатывать алгоритм действий во время таких ситуаций.

На кафедре нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела на занятиях «Основы разработки шельфовых нефтегазовых месторождений» применяется тренажер по отработке действий в чрезвычайных ситуациях для тренировки и обучения студентов в моделируемых аварийных ситуациях (рис. 1): нефтяные разливы, аварии на потенциально опасных объектах, операции поиска и спасения при морских и авиационных катастрофах.

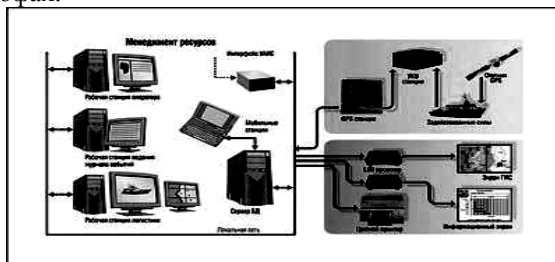




Рис. 1. Моделирование

Это источники возможного загрязнения морской среды на всех стадиях проведения работ. Причины и тяжесть последствий таких аварий могут варьироваться очень сильно, это зависит от конкретного сечения обстоятельств природных и техногенных факторов.

Самые типичные причины – это поломка оборудования, ошибки персонала и чрезвычайные природные явления, такие как ураганный ветер, сейсмическая активность и многие др. Основная опасность таких аварий состоит в том, что разливы или выбросы нефти ведут к тяжелым последствиям для окружающей среды. Особенно сильное влияние такие аварии оказывают на прибрежную зону и места с затрудненным водообменом [1].

Аварии при добыче нефти и газа на морском шельфе весьма часты, особенно в начальных этапах разработки месторождений.

Командный тренажер PISCES II предназначен для подготовки и проведения штабных и полевых учений по ликвидации аварийных разливов нефти. PISCES II ориентирован на решение задач, сформулированных в Oil Pollution Act 1990 (OPA 90), по совершенствованию подготовки руководителей ликвидаторов разливов среднего и высшего уровней и разработки планов.

PISCES II создает для участников учений интерактивное информационное окружение на основе математического моделирования нефтяного разлива, взаимодействующего с окружающей средой и средствами борьбы. Система также включает средства для сбора информации, позволяющей оценить результаты действий участников учений.

Тренажер обладает следующими функциональными возможностями [2]:

- моделирование и воспроизведение ЧС, имевших место в реальности, а также выполнение реалистичных упражнений и проведение учений;

- автоматическое отслеживание и графическое отображение развернутых сил и средств и ЧС в целом с использованием навигационных карт формата TX97 производства Транзас, а также карт других форматов;

- прогнозирование с помощью математического моделирования траектории движения, испарения, взаимодействия с берегом и потенциально опасного воздействия разлива нефти или химического продукта на акваториях, а также степени угрозы токсичных субстанций в воздухе в результате разлива химических веществ, на основе блока АХОВ, разработанного ФЦ ВНИИ ГО ЧС;

- содержит базы данных по силам и средствам, погодным условиям, течениям, зонам риска и природоохранным зонам, воспроизводит события сценария упражнения, регистрирует события в журнале;

- позволяет осуществлять прием информации от различных источников;

- возможность подключения к АИС и GPS для последующего получения информации;

- проведение упражнения в ускоренном режиме или режиме реального времени;

- сетевая конфигурация для работы в интерактивном режиме на нескольких рабочих станциях;

эффективна для планирования хода операции, выработки управленческих решений и осуществления общего оперативного контроля.

Для более полного представления технологического процесса разработки шельфовых нефтегазовых месторождений в суровых климатических условиях предлагается использовать также на занятиях «Основы разработки шельфовых нефтегазовых месторождений» тренажер морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная» компании Транзас.

Тренажер морской ледостойкой стационарной платформы обеспечивает [3]:

- визуальное ознакомление обучаемых с технологическим процессом добычи нефти;
- извлечение нефти из продуктивного горизонта; управление погружными электроцентробежными насосами, имитация работы с оборудованием устья скважин;
- управление пластовым давлением путем закачки воды.
- обучение управлению системой доведения нефти до необходимых экспортных параметров;
- выполнение необходимых операций с сепарационной установкой;
- управление технологическим оборудованием.
- подготовку к выполнению операций с газом;

- отработку навыков по добыче пластовой воды и ее утилизации с помощью системы ППД: управление восполнением дефицита воды для ППД морской водой, прошедшей соответствующую обработку;
- обучение управлению системой хранения и транспортировки нефти через систему учета, а затем через шланговочные устройства на танкер арктического класса.

В рамках проведения совместного обучения по перемещению груза тренажер морской ледостойкой стационарной платформы может быть интегрирован с другими тренажерными системами производства компании «Транзас»: тренажерами плавучего нефтехранилища и арктического танкера.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с. [Vorobiev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Preduprezhdenie i likvidacia avariinyh razlivov nefli i nefteproduktov].
- [2] Краткое руководство к тренажеру по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II [Kratkoe rukovodstvo k trenazheru po otabotke deistvii v chrezvychainyh situaciah PISCES II].
- [3] <http://www.transas.ru/products/Ice-ResistancePlatform?from=10001>

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА ПО ОТРАБОТКЕ ДЕЙСТВИЙ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ PISCES II ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ ДОБЫЧИ АКВАЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ»

И.Л. Капитонова, аспирант

А.С. Кауменова, аспирант

А.В. Власова, аспирант

*Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Макля, 6, Москва, Россия, 117198*

Рассмотрены возможности изучения дисциплины «Основы добычи аквальных газовых гидратов» с использованием тренажера по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II.

Ключевые слова: газовые гидраты, тренажер, чрезвычайные ситуации.

В последнее время газогидраты привлекают все более нарастающий интерес исследователей всего мира. Это связано, прежде всего, с рас-

смотрением газогидратов как одного из основных источников энергии будущего.

Тем не менее, нужно отметить, что разработка аквальных гидратных залежей тем или иным способом может привести к цепной реакции разложения газогидрата, что в свою очередь может породить подводные оползни, осыпи и лавины, за которыми последовали бы выбросы.

Также необходимо отметить, что метангидраты очень чувствительны к любым изменениям внешних параметров среды. Так, небольшое колебание температуры или давления может вызвать превращение гидратосодержащих пород в разжиженную массу и, соответственно, освобождение огромного количества газа [1, 2].

На тренажере по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II можно смоделировать чрезвычайную ситуацию – внезапный выброс метана, который повлечет за собой разлив нефти (если газогидратная залежь располагается в контакте нефтяными пластами) и др.

Данный тренажер может применяться для обучения студентов в таких имитируемых аварийных ситуациях, как:

- нефтяные разливы;
- аварии на потенциально опасных объектах;
- операции поиска и спасения при морских и авиационных катастрофах.

Среди функциональных возможностей данного тренажера можно выделить не только моделирование и воспроизведение чрезвычайных ситуаций, которые когда-то произошли в реальности, но и выполнение реалистичных упражнений и проведение учений, а также обширные базы данных по силам и средствам, погодным условиям, течениям, зонам риска и природоохранным зонам, возможность воспроизведения событий сценария упражнения, а также их регистрации в журнале. Помимо этого в процессе обучения у студентов формируются знания, навыки и умения эффективного планирования операций, выработки управленческих решений и осуществления общего оперативного контроля.

При изучении дисциплины «Основы добычи аквальных газовых гидратов» студенты могут использовать следующие силы и средства борьбы с чрезвычайными ситуациями: транспортные средства, суда, летательные аппараты, нефтесборщики, дисперсанты, противопожарное оборудование, оборудование для спасательных операций и т.д. Также пользователь имеет возможность редактировать параметры окружающей среды: силу и направление ветра, температуру воды и воздуха, высоту волны, поле течений, степень солености воды.

Таким образом, в рамках программы PISCES II студент имеет возможность подготовки, проведения и аналитического разбора упражнений

по дисциплине «Основы добычи аквальных газовых гидратов».

ЛИТЕРАТУРА

[1] Воробьев А.Е., Малоков В.П., Рыгзынов Ч.Ц. Осложнения при гидратопроявлениях в акваториях Баренцового моря и озера Байкал. М., РУДН. 2010. 189 с.

[2] Воробьев А.Е., Молдабаева Г.Ж., Чекушина Е.В., Байлагасова И.Л. Приборное оснащение и методическое сопровождение исследований газогидратов и их залежей. Алматы (Казахстан). ИГД им. Д.А. Кунаева. 57с.

СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ КИТАЙСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Воробьев А.Е.¹, д.т.н.
Хань Сюэ¹, магистрант

В тезисе приведена информация о технологических параметрах буровых установок, производимых в Китае.

Ключевые слова: буровые установки, скважина, нефтегазовое месторождение

Китайские буровые были разработаны для эксплуатации месторождений нефти в Китае, когда, после государственной реформы, столкнувшись с конкуренцией зарубежных буровых установок, производители нефтяного машиностроения в полной мере осознали необходимость изучения всестороннего научно-практического подхода к разработке буровых установок международного уровня, чтобы содействовать укреплению позиций на внутреннем рынке.

Согласно тенденции «Интернационализации внутреннего рынка и локализации международного рынка», в соответствии со спросом внутреннего и международного рынка, в Китае на буровых установках применяют передовые технологии.

В настоящее время в Китае производят серийные буровые установки с глубиной бурения от 1000 до 7000 м, буровые установки с глубиной бурения от 1000 до 9000 м с механическим приводом, или с электроприводом, для бурения скважины или эксплуатации в пустыни, сухопутной и море. По всему Китаю действуют 800 шт. крупных буровых установок и 166 шт. средних, из которых 87 % установок были сделаны в Китае.

Сейчас технология изготовления буровых установок китайских производителей уже достигла или приближается к международному передо-

вому уровню. В последние 2 года производители нефтяного оборудования прошли запланированную необходимую структурную реформу. В результате китайские предприятия нефтяного машиностроения достигли очевидных успехов в техническом прогрессе, развитии рынка, экономической эффективности и в экспорте.

Современный уровень развития китайских буровых установок можно охарактеризовать следующим образом:

1) Комплектные буровые установки обладают международной конкурентоспособностью. Качество и технология буровых установок соответствуют современному международному уровню.

2) В последние годы китайские буровые установки с электроприводом быстро развиваются, система управления выросла с начального аналогового управления к нынешнему международному популярному типичному 3-х ступенному управлению, т.е. коммуникационная сеть дает возможность осуществлять мониторинг верхнего уровня, ПЛК управления процессом и цифрового управления.

Автоматическая технология управления в китайских буровых установках достигла международного передового уровня, буровые установки с электроприводом достигли уровня четвертого поколения в США и буровые установки АС частотно-регулируемым электроприводом также достигли международного передового уровня. В то время 5 видов буровых установок достигли международного передового уровня аналогично периода, а 12 видов - заполнили пробелы внутреннего рынка.

3) Однако в адаптационности, комплектности, разнообразии, серийности, автоматизации и интеллектуализации буровых установок есть еще значительный разрыв с передовым уровнем развитых стран. Разработка буровой установки частотно-регулируемого электропривода переменного тока только началась, стенд управления бурильщика и приборы были размещены вместе в аппаратную, но системы операции относительно независимы друг от друга. Кроме того, зарубежные страны имеют проверенные буровые установки для бурения сверхглубоких скважин (с глубиной больше чем 8000 метров) и комплектные пустынные и оффшорные буровые установки, а также технология по дисковому тормозу, автоматической подачи бурильных труб (которые в Китае отсутствуют).

4) Время технического обслуживания буровых установок китайского производства занимает от 5 % до 10 % в общем объеме производства, а производства Америки - только 2 % до 3 %.

5) Разработка буровой установки для бурения в пустыне, болоте и других условиях только началась. Модульность средней установки находится еще в низкой степени. Перемещения на 5000 метров зарубежной буровой установки занимается только 40 раз, снос, перемещение, установки и начало бурения осуществляется за 24 часа.

б) Планируется увеличить инвестиции в развитие китайских буровых установок для бурения маленького ствола скважины, колтюбинговой буровой установки, автоматизированных буровых установок и другие передовые оборудования. Более активно внедрять мобильные буровые установки, одновременно развивая стационарные установки.

РЫНОК БУРОВЫХ УСТАНОВОК В ТУРКМЕНИСТАНЕ

Воробьев А.Е.¹, *д.т.н.*
Сеидов А.А.¹, *магистрант*

1 -Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В тезисе представлена информация о бурении на нефть и газ в Республике Туркменистан.

Ключевые слова: буровая установка, нефтегазовое месторождение

Государственная компания «Туркменнефть» является крупнейшим производственно-хозяйственным комплексом республики Туркменистан, который осуществляет разведку и разработку нефтяных и газовых месторождений, а также обеспечивает комплексное исполнение тактических и стратегических программ развития нефтегазовой отрасли Западного Туркменистана.

Следует отметить, что все годы независимости Госконцерн «Туркменнефть» развивался ускоренными темпами. Например, если в 1997 г. предприятиями этого концерна было добыто 5 млн. 143 тыс. тонн нефти, то в 2001 г. - 7 млн. 560 тыс. тонн, а в 2006 г. уже 9 млн. 360 тыс. тонн. В добыче газа объемы также выросли с 3 млрд. 760 млн. м³ до 10 млрд. 360 млн. м³ в 2007 году.

Значительных показателей добились и буровики «Туркменнефти». Так, в 1993 г. буровыми предприятиями этого концерна было пробурено 65 тыс. 805 погонных метров горных пород, а уже в 2003 г. проходка составила 165 тыс. 810 метров.

В настоящее время «Туркменнефть» разрабатывает 27 нефтегазовых месторождений и объемы добычи углеводородов постоянно растут. Причем практически все нефтяные месторождения Западного Туркменистана имеют многоплановое строение и включают в себя от нескольких до 100 и более отдельных залежей, что существенно осложняет их разработку.

Кроме этого необходимо отметить, что почти все месторождения, разрабатываемые Госконцерном «Туркменнефть», находятся на поздней стадии эксплуатации и требуют использования новейшего бурового оборудования.

Китайское правительство в 1998 и 2000 гг. выделило Туркменистану 2 льготных кредита для закупки буровых установок и агрегатов для ремонта скважин. В настоящее время в Туркменистане уже работает 15 буровых установок, поставленных Китаем.

Кроме того, с 1997 г. Китайская нефтяная инженерно-строительная корпорация (на базе Министерства нефтяной промышленности Китая) активно участвует в восстановлении скважин на туркменских нефтепромыслах. В частности, только за 5 лет китайские специалисты отремонтировали около 300 скважин, которые уже дали более 2 млн. тонн нефти.

В 2005 г. трест "Бурнефтегаз" Государственного концерна "Туркменнефть" на оборудовании немецкой фирмы "Бентек" пробурил скважину глубиной 6300 метров. В этом же году подразделения треста "Бурнефтегаз" пробурили в общей сложности около 100 тыс. метров горных пород, почти в 2 раза увеличив объемы эксплуатационного и поисково-разведочного бурения за последние 6 лет.

Помимо немецкого оборудования, трест "Бурнефтегаз" использует китайские буровые установки ZJ-70 DS-6. Кроме того, с Государственным концерном "Туркменнефть" активно сотрудничает компания Schlumberger, которая в 1999 г. заключила с "Туркменнефтью" долгосрочный контракт. Оказываемые компанией Schlumberger услуги финансируются Государственным фондом развития нефтегазовой промышленности и минеральных ресурсов Туркменистана за счет средств госконцерна "Туркменнефть", полученных им от реализации сырой нефти и нефтепродуктов.

В 2008 г. ЗАО "Уралмаш-буровое оборудование" (Екатеринбург, производственное подразделение нефтесервисной группы "Интегра") поставило Государственному концерну "Туркменнефть" 8 буровых установок. Сумма контракта составляет более 500 млн. руб. Кроме этого, "Уралмаш-буровое оборудование" планирует принять участие в тендере государственного концерна "Туркменгаз" на поставку еще 12 буровых установок.

В 2013 г. Президент Туркменистана подписал Постановление, разрешив Государственному концерну «Туркменгаз» заключить с производственной компанией «Lanzhou LS-National Oilwell Petroleum Engineering Co., Ltd» (Китайская Народная Республика) контракты (для разработки крупнейшего газового месторождения Туркменистана "Галкыныш", которое располагает запасами в объеме более 26 трлн. м³ газа):

- на закупку 5-ти буровых установок марки «ZJ70DBS», необходимых для проведения соответствующих работ на эксплуатационных скважинах газового месторождения «Галкыныш»;

- на выполнение монтажных, пусконаладочных работ на вышеназванных установках, а также обучение туркменских специалистов.

В 2014 г. государственный концерн «Туркменнебит» заключил с корпорацией «China Petroleum Technology and Development Corporation» (Китайская Народная Республика) контракт на закупку 10 комплектов буровых установок марки «ZJ70DB». Согласно этому контракту, буровые установки будут укомплектованы годовым набором запасных частей и оборудованием высокого давления.

В 2015 г. на заводе «Красные Баррикады» (Россия) завершается монтаж плавучей буровой установки, предназначенной для эксплуатации на туркменском шельфе Каспийского моря, которая может одновременно бурить 12 скважин.

ГАЗОГИДРАТНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА

Воробьев А.Е.¹, *д.т.н.*

Кружков С.В.²

1 -Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

2 – Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе
ул. Миклухо-Маклая д.23, Москва, Россия, 117997

В тезисе приведены общеизвестные запасы газовых гидратов. Указывается содержание газа в газовом гидрате и описываются способы разработки газовых гидратов.

Ключевые слова: газовые гидраты, способ разработки, запасы, газогидратная залежь

В 2008 г. "Роснедра" направили в Минприроды 2-х летнюю программу научно-исследовательских работ по изучению скоплений газовых гидратов на дне Охотского и Черного морей.

По современным оценкам запасы газогидратов в донных отложениях Мирового океана оцениваются в $12,1 \cdot 10^{16}$ м³ в метановом эквиваленте [4]. А с учетом того обстоятельства, что 1 м³ природного метаногидрата содержит около 164 м³ метана в газовой фазе и 0,87 м³ воды, то запасы горючего газа (метана) в залежах газогидратов составляют величину 10^{19}

г, в то время как запасы нефти - $2 \cdot 10^{17}$ г, газа - $2 \cdot 10^{17}$ г и битумов - 10^{18} г. [2]. По экспертным оценкам в российских аквальных залежах арктического шельфа содержится примерно 7000 млрд. м³ метана. При чем в Охотском море сосредоточены самые большие российские разведанные запасы газогидратов — более 50 месторождений.

При этом себестоимость добычи метана из аквальных залежей газогидратов в настоящее время может составлять от \$54 (при курсе 1 \$ = 25 руб.) (оценка внедренческой фирмы «Лед-газогидрат» /Одесса/) до \$150 за 1 тыс. кубометров (оценка ВНИИОкеангеологии). При чем для строительства опытно-промышленного газодобывающего комплекса потребуется около \$500 млн.

Технологическими лидерами на газогидратном направлении являются США, Япония, Южная Корея и Индия.

В Южной Корее реализацией проектов по разработке газогидратных залежей занимается государственная компания Korea National Oil Corp. [3].

В Индии — это государственная компания National Gas Hydrate Program. Генеральный директорат по углеводородам (DGH) является пионером разведки и разработки газогидратных залежей. При чем глава Директората является координатором Технического комитета национальной программы по газогидратам.

В США разведку и разработку залежей газогидратов осуществляет Министерство энергетики США и компании ConocoPhillips и Chevron.

Японская государственная корпорация нефти, газа и металлов (JOGMEC) первая в мире сумела добыть газ из гидрата метана на дне Тихого океана с глубины 1,3 километра. Работы также проводит Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

В настоящее время известны 3 базовые технологии разработки аквальных газогидратных залежей (рис. 1). В силу определенной неустойчивости (взрывного характера саморазрушения) газовых гидратов эти технологии имеют малую экономическую эффективность и низкую промышленную безопасность.

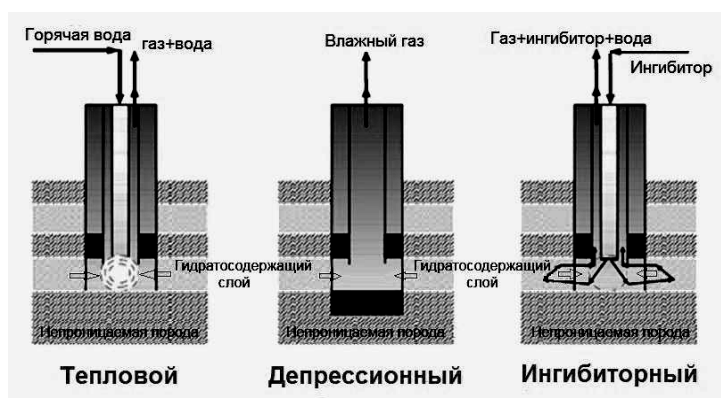


Рис. 1. Основные известные методы добычи газа из газовых гидратов

Зачастую при подаче теплоносителя при разработке газогидратной залежи возможна так называемая "газогидратная бомба" (когда внутри газогидратной залежи внезапно понижается давление и происходит локальный взрыв).

В настоящее время существенное снижение себестоимости продукции возможно прежде всего на основе использования достижений в области нанотехнологий [1].

Разработанная нами принципиально новая технология как раз и основана на четком соответствии наноразмерных ячеек газовых гидратов параметрам рабочих инструментов, разрушающих газогидратную залежь.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воробьев А.Е. Основные принципы эффективного применения промышленных нанотехнологий при добыче аквальных газогидратов // Наноинженерия N 12. 2014.
- [2] Гидротермальный механизм образования углеводородов в срединно-океанических хребтах (на примере Баренцева и Норвежского морей) // <http://www.geolib.ru/OilGasGeo/1997/08/Stat/stat01.html>.
- [3] Корея начнет бурение в поисках газогидратов // http://www.gas-journal.ru/online/foreign.php?ELEMENT_ID=18670.
- [4] Сокур О.Н., Геворкян В.Х. Стратегический резерв углеводородного сырья XXI столетия — метановые газогидраты морских бассейнов // [Геология и полезные ископаемые мирового океана](#) № 3. 2006. С. 52-61.

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕТОДОВ
ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ
АКВАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ТРЕНАЖЕРЕ ПО ОТРАБОТКЕ
ДЕЙСТВИЙ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ PISCES II**

А.Е. Воробьев, д.т.н., проф.

И.Л. Капитонова, аспирант

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела

Российский университет дружбы народов

ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрены натурные, лабораторные и компьютерные эксперименты для изучения влияния разрабатываемых методов получения газогидратов на трансформацию аквальных ландшафтов (в различных климатических зонах) с использованием тренажера по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II.

Ключевые слова: газовые гидраты, аквальный ландшафт, тренажер, чрезвычайные ситуации.

В настоящее время во многих областях знаний наблюдается переход научных исследований с экспериментальных работ на имитационное моделирование, которое базируется на применении высокоэффективной компьютерной техники. Причиной такого явления служит дороговизна и сложность натурального эксперимента. В то же время в компьютерной программе невозможно предвидеть влияние всех существующих факторов и взаимосвязей, тем более, что многие из них просто не выявлены и не изучены. Поэтому целесообразно остановить выбор на полунатурном эксперименте.

Всеобщее применение методов моделирования в натуральных экспериментах позволит значительно сэкономить время и средства, обеспечить получение в определенное ограниченное время результатов из минимального объема экспериментальных данных.

В частности, был рассмотрен пример залегания гидратных пластов в контакте с пластами тяжелых нефтей и битумов. В таком случае можно предложить совместную разработку, при которой в нефтяной части залежи осуществляют обычное внутрипластовое влажное горение, а за счет теплоты, поступающей в кровлю, разлагают газовые гидраты. Помимо нефти дополнительно можно добывать газ из гидратов, что повысит рентабельность подобного проекта разработки [1].

На тренажере по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II была выбран район исследований – Баренцево море, в котором располагается Штокмановское месторождение газовых гидратов, где помимо газового гидрата залегает и нефть [2]. Был рассмотрен вариант раз-

лива нефти на данном месторождении. Так, на тренажере были заданы определенные параметры: скорость ветра, поле течений и т.д. В результате разлившуюся нефть собирали с применением бонов, дисперсантов и др. методов сбора нефти.

Нужно отметить, что разлив нефти может привести к такому последствию, как трансформация аквального ландшафта. В нефти и промывочной жидкости содержатся различные тяжелые металлы, которые оказывают влияние на ландшафтную структуру побережья.

Так, если рассмотреть пример акватории Амурского залива, в которой наблюдается самое высокое многокомпонентное загрязнение водной толщи в результате сильного антропогенного воздействия, то можно сделать вывод о том, что среди поллютантов доминирующими являются нефтепродукты (как по степени концентрации, так и по площади распространения высокоаномальной зоны). Структура ландшафта побережья Амурского залива по сравнению с другими акваториями претерпела наиболее существенные изменения. В результате разнообразной трансформации природных ландшафтов в залив поступает масса обломочного материала с преобладанием тонких фракций.

Анализируя виды воздействия на ландшафт можно выделить следующие типичные их черты и особенности:

1) рассматривая чрезвычайные ситуации в целом, можно выделить наиболее распространенные – аварийные разливы нефтепродуктов, далее идут взрывы и пожары, реже – можно выделить радиационные аварии;

2) водную толщу всех акваторий можно определить прогрессирующей эвтрофикацией, а также наличием определенного спектра поллютантов (среди которых постоянно присутствуют детергенты, фенолы, пестициды, биогены, НП) с превышением ПДК;

3) оценка донных осадков шельфа определяется наличием высокоранговых геохимических аномалий в акваториях

4) все типы подводного ландшафта (мощность измененной толщи горных пород до 10 м) затронуты техногенной трансформацией (химической, физической, биогенной, динамической), ведущей к огромным негативным последствиям для акваторий.

Таким образом, оценивая кумулятивное воздействие всего комплекса антропогенных факторов, а также опасных тенденций, можно сделать вывод о том, что происходит постепенное нарастание дестабилизации геосистемы акватории в целом. В связи с чем, последняя вызывает еще большие потери природно-ресурсного потенциала, обеднение видового состава флоры и фауны, включая полное исчезновение популяций целого ряда видов, и, вследствие, в своем саморазвитии переходит на другой экосистемный уровень с наиболее простой структурой.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Воробьев А.Е., Малоков В.П. Инновационные технологии освоения месторождений газовых гидратов: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. доп. – М.: РУДН, 2009. – 289 с.

[2] Воробьев А.Е., Малоков В.П., Рыгзынов Ч.Ц. Осложнения при гидратопроявлениях в акваториях Баренцового моря и озера Байкал. М., РУДН. 2010. 189 с.

КИТАЙСКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ СЕРИИ DBS

Воробьев А.Е.¹, д.т.н.
Го Хуэйтин¹, магистрант

В тезисе приведена информация о технологических параметрах буровых установок, производимых в Китае.

Ключевые слова: буровые установки, скважина, нефтегазовое месторождение

В КНР, начиная с 2002 г. и по настоящее время, было введено в эксплуатацию порядка 400 единиц буровых установок серии DBS (АС инвертор) с частотно-преобразователем переменного тока, с цифровым преобразовательным приводом обладающие полностью автоматизированным контролем электропривода (VFD).

При высокой производительности и экономичности, данные буровые установки отличаются высокой степенью автоматизации и легким управлением, что значительно снижает интенсивность физического труда при ведении буровых работ.

Буровые установки серии DBS имеют большую амплитуду предела регулирования скорости электродвигателя и крутящего момента, которые соответствуют приводу лебедки, бурового насоса, ротора и верхнего привода. В то же время электродвигатели переменного тока еще в большей степени приспособлены к использованию в экстремальных климатических и географических условиях.

Используя преимущества современных частотно-преобразователей можно подать максимальный крутящий момент на лебедку (при минимальной скорости вращения барабана), что полностью меняет традиционный подход к работе бурильщика, позволяя более эффективное и безопасное проведение работы.

Кроме этого, приводная система с переменным током (благодаря электроприводу) потребляет меньше энергии и ведет к упрощению конструкции механического привода, что значительно облегчает обслужива-

ние буровой установки.

Привод лебедки такой буровой установки характеризуется небольшим весом, малым объемом и повышенной безопасностью. При этом существует возможность подбирать вспомогательную приводную систему и осуществлять автоматическую подачу долота на забой.

Эта буровая установка обладает интегрированной кабиной бурильщика, где с помощью операционной рукоятки и сенсорного экрана производятся различные рабочие операции бурения.

Буровая установка обладает совершенной системой безопасности, которая обеспечивает безопасность как рабочих, так и самой буровой установки (табл. 1).

Таблица 1

Техническая характеристика буровой установки

Тип	Норм. глубина бурения	Мощность лебедки	Макс. статическая нагрузка на крюке	Мощность бурового насоса	Мощность оборудования
ZJ30DBS	3000 m/9840 ft	600 kw/800 HP	170 mt/378000 lbs	2×597 kb 2×800 HP	2×1000 kw 2×1340 HP
ZJ40DBS	4000 m/1300 0 ft	1000 kw/1340 HP	225 mt/500000 lbs	2×764 kb 2×1000 HP	3×1000 kw 3×1340 HP
ZJ50DBS	5000 m/1640 0 ft	1200 kw/1600 HP	315 mt/700000 lbs 340 mt/750000 lbs	2×1193 HP 2×1600	3×1000 kw 3×1340 HP
ZJ70DBS	7000 m/2300 0 ft	2000 kw/2680 HP	450 mt/1000000 lbs	3×1193 kb 3×1600 HP	4×1200 kw 4×1610 HP
ZJ90DBS	9000 m/2950 0 ft	3200 kw/4300 HP	585 mt/1300000 lbs 675 mt/1500000 lbs	3×1193 kb 3×1600 HP	5×1200 kw 5×1610 HP
ZJ120DB S	12000 m/3940 0 ft	4500 kw/6040 HP	900 mt/2000000 lbs	3×1641 kb 3×2200	5×1400 kw 5×1880 HP

Функциональная система информации буровой установки включает: цифровое отображение параметров бурения и цифровую регистрацию

данных, контрольную видеосистему управления процессом бурения, систему связи с буровой установкой. Также подобная буровая установка может комплектоваться системой цифровой дистанционной передачи и контроля информации.

Имеется в наличии всесторонняя функция диагностики неисправностей частотно-преобразовательной системы и система (PLC) технического контроля, выполняющая запасную функцию.

Ввиду комплектации полностью автоматическими устройствами и механизмами, автоматизация и интеллектуализация буровой установки типа DBS достигает новейшего уровня.

Секция – 10
Начертательная геометрия и черчение

**РАЗВИТИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЫШЛЕНИЯ
СРЕДСТВАМИ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ**

М.А. Айгуния

Кафедра начертательной геометрии и черчения
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В работе представлен новый электронный курс начертательной геометрии, основанный на видеофильмах, в которых студент может видеть одновременно пространственный геометрический образ и комплексный чертеж.

Ключевые слова: электронный учебник, пространственное мышление, геометрический образ, комплексный чертеж.

Благодаря интернет-технологиям, которые стремительно изменяют окружающий нас мир, образование также претерпевает неизбежные трансформации. Не использовать возможности «всемирной паутины» означает не идти в ногу со временем в образовательном процессе. В особенности это касается высшей школы. В настоящее время интернет используется в образовательном процессе в виде решений, лежащих на поверхности. Среди них можно отметить следующие интернет-ресурсы: выложенные в сеть литературные источники по заданной дисциплине; обучающие видеоролики, записанные с экрана; дистанционное обучение, которое также чаще всего является видеофильмом или прямой трансляцией; контроль знаний через интернет-тестирование. Все перечисленные возможности использования интернета в образовательном процессе, по сути, мало отличаются от традиционных способов получения знаний, а именно, из литературного источника – учебника или от преподавателя. Разница лишь в том, что учебник находится на экране компьютера, а преподаватель не в аудитории, а по мере необходимости также на экране.

Автором предлагается другой путь обучения, основанный на новых возможностях, которые дает интернет. Для этого был написан электронный учебник по курсу начертательной геометрии. Текстовая часть учебника представляет собой краткое традиционное изложение классического курса начертательной геометрии. В текст внедрено примерно 130 чертежей, демонстрирующих решение различных задач. Каждый из чертежей снабжен ссылкой на видеофайл, который, в свою очередь, демонстрирует

решение задачи в режиме реального времени. Т.е. студент может увидеть не только конечный результат решения задачи, но и весь процесс построения этого решения без участия преподавателя, что раньше было невозможно. Но самое главное заключается даже не в этом. Аналогичные примеры в интернете имеются. Одновременно с построениями, происходящими на комплексном чертеже, студент может видеть и то, что происходит с геометрическим образом в пространстве. На рисунках 1 – 5 демонстрируются отдельные кадры из видеофильмов по решению следующих задач начертательной геометрии:

- образование поверхности гиперboloида вращения;
- пересечение поверхности сферы и конической поверхности;
- преобразование комплексного чертежа способом вращения вокруг проецирующей оси;
- построение касательной плоскости и нормали к поверхности вращения общего вида;
- построение развертки призматической поверхности методом раскатки.

Такой учебник позволяет обучать начертательной геометрии на новом качественном уровне. Это актуально, если учесть тот факт, что подготовленность современных абитуриентов к обучению в технических и архитектурных вузах оставляют желать лучшего. В особенности это касается уровня развития пространственного мышления, без которого невозможно представить себе квалифицированного инженера и архитектора. Многолетний опыт преподавания начертательной геометрии в вузе говорит о неуклонно снижающемся уровне развития пространственного мышления. В то же время эти же студенты прекрасно ориентируются и быстро осваивают все, что связано с интернет-технологиями и буквально не выпускают из рук всякого рода мобильные устройства (планшеты, смартфоны). Это дает возможность «достучаться» до них через эти мобильные устройства путем создания обучающих приложений. Автором предполагается создание приложения, включающего в себя описанный выше электронный учебник и контролирующие материалы в виде электронных тестов. Таким образом, обучающий курс начертательной геометрии всегда под рукой в удобное для студента время и в наглядной форме.

Кроме того, создание обучающего приложения с невысокой стоимостью в определенной степени гарантирует соблюдение авторских прав в отличие от простого выкладывания на сайте, где любой желающий может при минимальной подготовке скопировать и распространить в свободном доступе чужой авторский труд.

Использование вышеописанных видеоматериалов в преподавании курса начертательной геометрии в течение ряда лет в Российском уни-

верситете дружбы народов показало эффективность и результативность подобного подхода по итогам рубежных и промежуточных аттестаций.

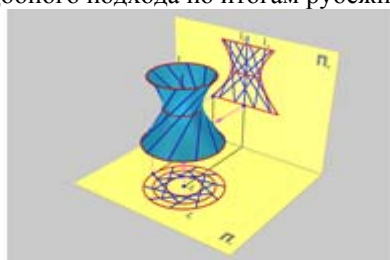


Рис.1

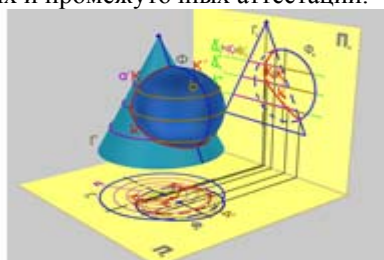


Рис.2

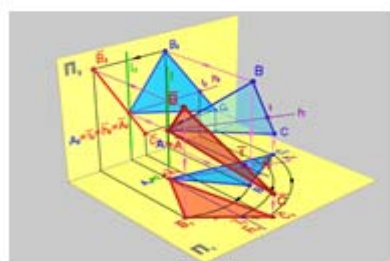


Рис.3

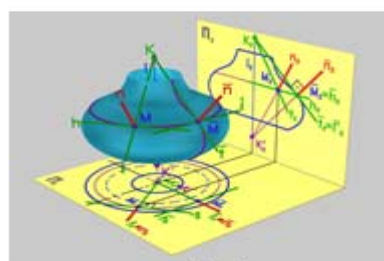


Рис.4

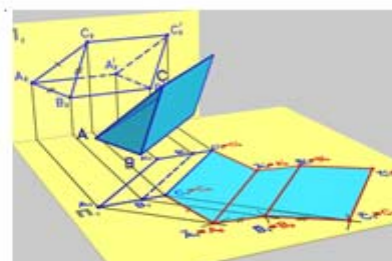


Рис.5

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Климухин А.Г. Начертательная геометрия. – М.: Архитектура-С, 2007.
- [2] Короев Ю.И. Начертательная геометрия. – М.: Архитектура-С, 2007.
- [3] Кухарчук А.И., Айгуния М.А., Нестеренко М.А. Учебные задания по начертательной геометрии по теме «Задание геометрических образов на комплексном чертеже». – М.: Изд-во РУДН, 2014.
- [4] Кухарчук А.И., Айгуния М.А. Учебные задания по начертательной геометрии по теме «Позиционные и метрические задачи. Преобразования комплексного чертежа. Развертки поверхностей. Аксонометрия». – М.: Изд-во РУДН, 2014.

ВЛИЯНИЕ СИНТЕЗА ДИСЦИПЛИН ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ ВУЗОВ

М.А. Нестеренко

Кафедра начертательной геометрии и черчения
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Рассмотрены вопросы об актуальности синтеза курсов компьютерной и инженерной графики и его влияния на формирование профессиональных компетенций студентов машиностроительных направлений подготовки в вузе. Проанализированы возможности повышения качества обучения и заинтересованности студентов в учебном процессе.

Ключевые слова: Болонский процесс, инженерная графика, компьютерная графика, профессиональные компетенции, междисциплинарные связи, метапредметные связи, парадигма обучения, синергия.

Глобализация современного общества подразумевает интеграцию и унификацию мировых общественных процессов, в том числе и процесса образования. Для устранения несоответствия российской и европейской систем образования Россия вступила в Болонский процесс. Задачами Болонского процесса являются конвергенция и гармонизация систем образования стран-участников для создания единого европейского пространства высшего образования с равными требованиями к подготовке и оценке результатов обучения выпускников вузов, для их свободного трудоустройства или продолжения учебы в различных странах Европы.

В связи с дефицитом квалифицированных кадров в области машиностроения на сегодняшний день, большое значение имеет подготовка специалистов высокого уровня для этой отрасли. При интенсивно развивающихся технологиях и инновациях высоки требования к профессиональным знаниям и умениям выпускников вузов. Отставание рынка образовательных услуг от запросов экономики дает толчок к поиску способов его устранения.

Участие России в Болонском соглашении диктует новые подходы к системе отечественного образования, реструктуризацию и оптимизацию учебного процесса. В высшее профессиональное образование внедряется компетентностный подход к процессу обучения специалистов. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования формулирует содержание компетенций выпускников, в том числе и машиностроительных направлений подготовки. Про-

фессиональная деятельность любого инженера тесно связана с разработкой технической документации, включающей большое количество графической информации, поэтому в системе компетенций сформулированы следующие требования к результатам освоения образовательных программ:

- способность и готовность разрабатывать техническую графическую и текстовую документацию на основе действующих стандартов;
- способность и готовность использовать современные компьютерные и информационные средства для решения профессиональных задач;
- способность и готовность к кооперации с коллегами, работе в группе;
- способность и готовность к самостоятельной работе и саморазвитию.

В формировании вышеперечисленных компетенций большую роль играют дисциплины «Инженерная графика» и «Компьютерная графика», не справедливо разделенные не только на две дисциплины профессионального цикла, но и часто разнесенные в разные семестры обучения. Цели и задачи двух дисциплин являются общими, и даже в их названиях ключевым является слово «графика». Обе дисциплины предназначены для приобретения знаний и навыков выполнения технической документации любого вида.

Инженерная графика – дисциплина, которая занимает важное место в подготовке инженеров машиностроительных направлений подготовки. Дисциплина обучает способам изображения объектов, основам проектирования и моделирования, правилам выполнения технической документации. Компьютерная графика обучает приемам создания все тех же графических изображений. Непривлекательность длительной рутинной работы, какой является процесс выполнения графических изображений вручную, диктует условия и мотивирует студентов вузов к изучению и использованию постоянно обновляющихся видов программного обеспечения для решения поставленных задач. Функции инженерной графики, как теории, и компьютерной графики, как инструмента, являются объединяющими оба предмета. Изучение графических редакторов дает в руки студенту универсальный инструмент для осуществления не только быстрого и качественного создания чертежа, но и функций проектирования с динамичным редактированием, что позволяет избегать ошибок на начальном этапе проектирования.

Общие задачи инженерной и компьютерной график и возникающая связь типа теория-инструмент диктуют необходимость не только сближения дисциплин, но и их синхронизацию – процесса приведения программ и учебно-методических комплексов дисциплин к их взаимному соответствию для получения единого результата в процессе их изучения. Синхронизация дисциплин, как процесс синергии*, может дать новый качественный скачок в результате обучения.

Синхронизация дисциплин, как стратегия рационального использования учебного времени, в некоторой степени, решает проблему сокращения аудиторных часов. Общность программ и задач в совокупности с субъектно-субъектной парадигмой обучения, когда преподаватель – партнер, наставник и консультант, который управляет самостоятельной работой студента, создают условия для саморазвития обучающихся, воспитанию желания и способности работать самостоятельно.

Средства коллективной работы в графических редакторах и набирающие силу инновационные облачные технологии дают мощный инструмент для воспитания коммуникативных навыков студентов при работе над проектами. При правильно организованном процессе работы в мини-группах над общим проектом, который заканчивается созданием презентации и общей защитой, запускаются процессы повышения ответственности за результат у каждого участника и взаимного влияния на процесс обучения в группе. Творческая обстановка, которую должен создать преподаватель-наставник, способствует повышению самооценки обучающихся и чувства ответственности.

Мощная система расчетных средств в графических редакторах нового поколения в совокупности с изобразительными возможностями создает хорошую базу для изучения таких последующих дисциплин профессионального цикла, как основы проектирования машин и сопротивления материалов, что позволяет укреплять междисциплинарные связи. Постановка в будущем комплексных задач, охватывающих темы нескольких смежных дисциплин, решение их способами и средствами, полученными при изучении синтезированного курса, дает начало развитию метапредметных связей, соединяющих разобщенность и оторванность друг от друга смежных дисциплин. Такой подход приводит к целостному восприятию студентом задач профессиональной области.

Синхронизация дисциплин предъявляет новые требования к уровню квалификации преподавателей графических предметов. Современный преподаватель должен владеть современными компьютерными средствами для организации и осуществления учебного процесса и постоянно повышать свой профессиональный уровень.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тимофеева Т.В., М.А. Нестеренко М.А. Об интеграции курсов компьютерной и инженерной графики для инженерных специальностей // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». – 2012.- № 4. – С. 81-83.
- [2] Л.Н. Анисимова Инновационный подход к профессионально-графической подготовке будущих учителей технологии и предпринимательства // Электронный журнал «Вестник МГОУ» / www.evestnik-mgou.ru. – 2014. – № 12.

Секция – 11
Инженерный бизнес и управление предприятием

**ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ
ПРОЕКТАМИ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЯХ**

В.Б. Алексеенко, к.т.н.,

Е.Л. Щесняк, д.н.э.н.,

Р. Артемкина, аспирант

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

Статья посвящена вопросам модернизации системы управления инвестиционной деятельностью в нефтегазодобывающих компаниях. Проанализирован текущий подход к управлению инвестиционными проектами, обоснована необходимость модернизации системы управления, предложены направления совершенствования системы, сформированные на основе мировой практики управления в отрасли.

Ключевые слова: актив, инвестиционная деятельность, нефтедобывающая компания, портфельная оптимизация, проект, система поддержки принятия решений, система управления, управление проектами, фазовый подход.

Для динамичного развития любой компании важен грамотный подход к формированию инвестиционной деятельности. Инвестиционная деятельность представляет собой процесс реализации наиболее эффективных форм вложений капитала, направленных на расширение экономического потенциала компании. Наиболее значимой формой вложения капитала для нефтегазодобывающих компаний является приобретение нефтегазовых активов (лицензий на поиск, разведку и добычу углеводородов) и дальнейшее их развитие. На текущий момент инвестиционная деятельность многих российских нефтегазодобывающих компаний осуществляется по сложившимся в конце XX века принципам.

Несмотря на то, что сложившаяся система управления инвестиционной деятельностью является стабильной и функционирующей без перебоев, все больше нефтегазодобывающих компаний осознают необходимость модернизации данной системы. Главной причиной тому служит низкое качество принимаемых инвестиционных решений в условиях динамичного рынка и географической удаленности дочерних предприятий.

Исторически сложившаяся в России система управления опирается, главным образом, на четкое распределение функций между подразделениями и многоуровневую иерархию управления, что усложняет оперативное выявление возможностей улучшения. Функции по планированию и анализу инвестиционных проектов в геологоразведке и добыче дублируются различными службами по вертикали организации, что приводит к существенной трате времени на перепроверку, разрешение регламентных вопросов, ведет к размыванию границ ответственности за итоговый результат. В результате, уделяется недостаточное внимание реальной работе по анализу и выработке решений по повышению эффективности инвестиционных проектов.

При сложившейся системе управления в российских нефтегазодобывающих компаниях, как правило, объектом инвестиционного решения является нефтегазовый актив – месторождение (рис.1). На активе осуществляется инвестиционная и операционная деятельность. Инвестиционное планирование также осуществляется по Активам. Это создает ряд трудностей при принятии решения: препятствует выявлению неэффективных инвестиционных решений в рамках общего проекта разработки и эксплуатации месторождения, так как невозможно отказаться от инвестирования в месторождение в целом. При подобном подходе отсутствует возможность производить оценку экономической эффективности отдельных инвестиционных мероприятий в рамках Актива.

Решение обозначенных проблем видится в модернизации системы управления инвестиционной деятельностью в сторону лучших мировых практик. Рассмотрим основные направления возможных совершенствований.

I. В мировой практике широко применяется проектный подход к управлению. В крупных мировых нефтегазодобывающих компаниях выделяются объекты управления ниже уровня актива (месторождения), в частности крупные капитальные проекты (рис.2).

Капитальные проекты обладают следующими характеристиками:

1. мероприятия в рамках капитального проекта направлены на создание ценности;
2. проект обладает четкими границами работ;
3. проект ограничен по срокам и ресурсам;
4. проект может охватывать несколько месторождений, связанных общей инфраструктурой.

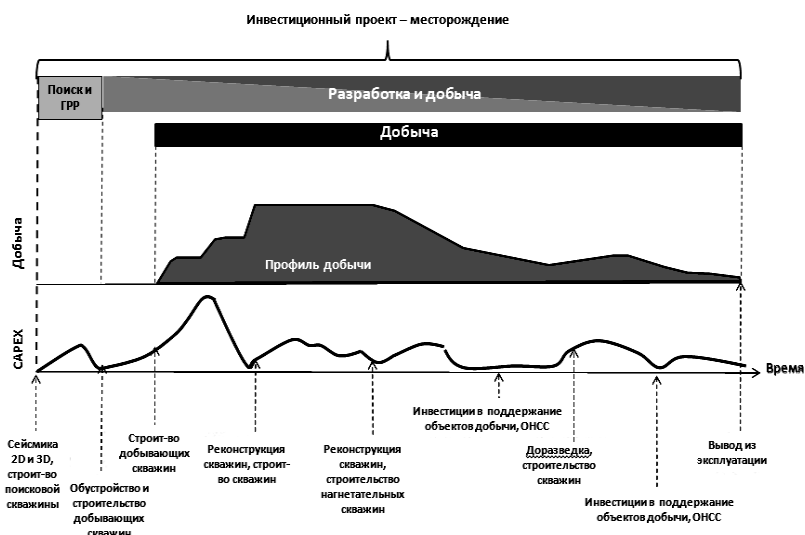


Рис.1 Традиционный подход (проект – месторождение)

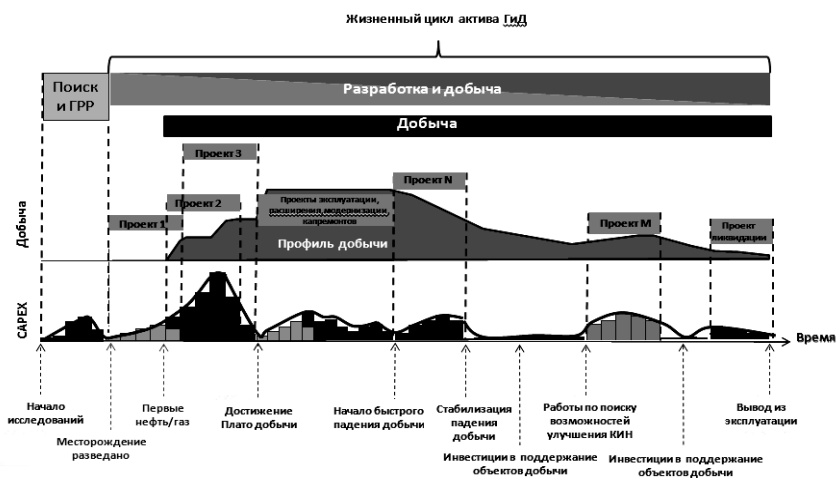


Рис.2 Проектный подход (проект – это этап развития месторождения)

В сравнении с традиционным подходом (рис.1), при котором цель государства – обеспечить максимальную добычу за весь период эксплуата-

ции месторождения, а цель Компании – обеспечить позитивный NPV на ближайшие 15 лет, проектный подход позволяет обеспечить наилучший экономический результат по каждому этапу развития месторождения (в рамках отдельных инвестиционных решений).

II. Традиционный процесс управления основан на календарном цикле планирования. [3, с. 317] Процесс актуализации плана развития актива на ближайшие 3 года, перечня планируемых мероприятий и, соответственно, объема требуемых инвестиций осуществляется ежегодно в рамках формирования инвестиционной программы. Соответственно, точка принятия решения по активу четко регламентирована - момент рассмотрения руководством инвестиционной программы. Однако при этом подходе готовность и проработанность комплексов мероприятий на активе, называемых в мировой практике крупными инвестиционными проектами, не берется во внимание. Как следствие, возникает огромный риск существенных отклонений сроков и объемов инвестиций.

В мировой практике для решения данной проблемы широко используется фазовый подход: по каждому из крупных капитальных проектов (виду работ) выделяется несколько фаз (определение, выбор, проработка, реализация и эксплуатация), при этом на каждую фазу выделяется определенный бюджет, освоить который можно, лишь предоставив обязательную документацию (описание проекта, финансовую модель, график реализации проекта, оценку рисков) [5, с. 421]. При фазовом подходе решения принимаются по результатам окончания работ по фазе и не привязаны к календарному циклу планирования (рис. 3).

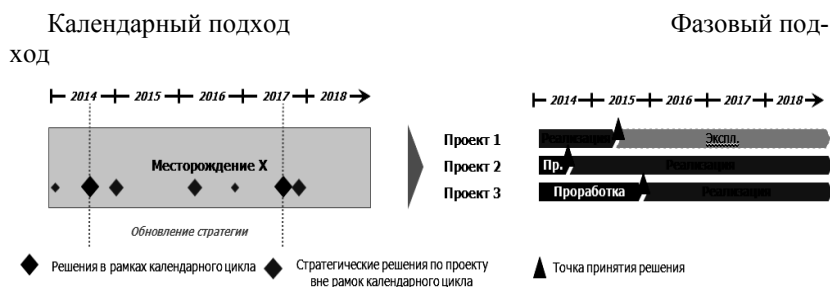


Рис.3 Сравнение подходов к принятию решений

III. В силу сложности процесса приобретения/сдачи нефтегазового актива, наличия определенных лицензионных обязательств нефтегазодобывающей компании перед государством, традиционный подход к управлению инвестициями в нефтегазодобывающих компаниях подразумевает реализацию всех инвестиционных проектов, экономическая эффективность которых положительна ($NPV > 0$) [2, с. 240]. В данном случае, на-

помним, что под проектом понимается месторождение. То есть осуществляются все запланированные мероприятия на месторождении, без осуществления их оптимизации.

Для повышения эффективности системы управления в мировой практике применяется портфельная оптимизация [1, с.22]. Т.е. проекты группируются в портфели с целью ранжирования по различным критериям, выбора наиболее привлекательных для дальнейшей их реализации. Таким образом, в рамках инвестиционного портфеля все однородные инвестиции конкурируют между собой.

IV. Разукрупнение объектов инвестиционных решений (активов) и выделение крупных инвестиционных проектов на активах позволяет руководству уделять внимание наиболее важным решениям. Однако наравне с данным процессом важно осуществлять процесс консолидации оставшихся инвестиций, в укрупненные программы (например, интенсификации добычи, реконструкции скважин). Как правило, такие инвестиции предполагают большое число типовых решений и не требуют значительного вовлечения руководства Корпоративного центра. Подобное планирование по укрупненным программам позволит осуществлять контроль на верхнем уровне, делегировав полномочия по управлению и распределению лимита инвестиционных расходов на нижестоящий уровень руководства.

Внедрение вышеописанных подходов к управлению инвестиционной деятельностью позволяет уделить должное внимание наиболее важным в стратегическом плане инвестиционным проектам, повысить стоимость активов за счет принятия решений на каждом этапе проработки проекта. Более того, появляется возможно создания системы поддержки принятия решений (СППР) с целью формирования наиболее эффективного портфеля инвестиционных проектов, соответствующего выбранной инвестиционной политике компании [4, с.184]. СППР, которая должна включать подсистему управления данными и база данных, подсистему управления моделями, интерфейс пользователя, позволит лицу, принимающему инвестиционное решение (ЛПР), анализировать инвестиционные проекты как в комплексе, так и в индивидуальном порядке, а также принимать аргументированные инвестиционные решения. В СППР должен быть реализован алгоритм обработки экспертных оценок, и при этом осуществляться процедура согласования мнений экспертов. При этом ключевым моментом является реализация механизма анализа чувствительности проектов, что позволит оценить, насколько эффективностью инвестиционного проекта устойчива к различным рыночным воздействиям. Интеграция СППР в систему стратегического управления компанией, занимающейся инвестиционной деятельностью, позволяет принимать взвешенные инве-

стиционные решения, что, в свою очередь, повышает эффективность управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аскинадзи В.М., Максимова В.Ф. Портфельные инвестиции. Учебное пособие.— Москва: Московская финансово-промышленная академия, 2005. — 62 с.
- [2] Бланк И. А. Инвестиционный менеджмент. Учебное пособие. — Изво: Эльга Ника-Центр, 2001. — 448 с.
- [3] Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент. Учебник. — Москва: Гардарики, 2001. — 528 с.
- [4] Солодовников А.С., Бабайцев В.А., Браилов А.В. Математика в экономике. Учебник в 2-х частях. Ч.1. —Москва: Финансы и статистика, 2000. —224 с.
- [5] Adedeji B.B., Samuel O.O. Project management for the oil and gas industry. A world system approach. – CRC Press, 2011. – 735 p.

АНАЛИЗ ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ И СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДА В КОММЕРЧЕСКОМ БАНКЕ

Г.А. Балыхин, д.э.н.

О.Ю. Мясникова

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье авторами проводится анализ приоритетных диагностических методов в современном банковском бизнесе. Отмечаются преимущества и ограничения их использования для совершенствования системы стимулирования и оплаты труда в коммерческих банках.

Ключевые слова: система стимулирования и оплаты труда, коммерческий банк, грейдинг, ключевые показатели эффективности.

Как показывает практика в стратегии управления в банковском секторе, в том числе России, приоритетной задачей большинства коммерческих банков (КБ) остается совершенствование системы стимулирования и оплаты труда.

В отличие от традиционной для российских предприятий тарифной системы фонда заработной платы, западные специалисты в области

управления человеческими ресурсами предлагают множество методик, основанных на корпоративном подходе к оплате труда, среди которых наиболее популярной и достаточно объективной является балльно-факторная оценка (грейдинг, грейдирование) [1].

Грейдинг базируется на создании определенных групп должностей, их позиционировании и распределении в иерархической структуре организации, а также в назначении определенного уровня заработной платы для конкретной группы работников в соответствии с ценностью данной позиции для компании. Основным преимуществом грейдирования является взаимосвязь и зависимость должностного оклада от квалификации и уровня компетенции сотрудников. Внедрение системы грейдов в банки предполагает развитие социальной, прозрачной политики стимулирования и программ карьерного роста, благодаря которым сотрудники смогут владеть информацией о возможностях изменения уровня доходов при горизонтальном или вертикальном перемещении по карьерной лестнице. Принципы такой системы дают возможность компаниям формировать кадровые резервы для ключевых направлений деятельности и рационально распределять затраты по оплате труда [2].

Система грейдинговой мотивации позволяет сотруднику оценить свою роль и осознать место в существующей должностной иерархии; в зависимости от функциональных обязанностей, уровня их сложности, зоны ответственности и получить справедливое вознаграждение за труд; оценить перспективы карьерного роста, а также прогнозировать временные рамки ожидания возможности увеличения заработной платы; последовательно планировать и повышать уровень профессиональной компетенции, необходимый для перехода на новый уровень грейда.

Так, согласно модели материального стимулирования персонала по грейдингу, в ЗАО КБ «Ситибанк» все рядовые специалисты были разделены на «клерков» (начинающих сотрудников) и «офицеров» (квалифицированных работников). Для каждой из этих групп предусматривались квалификационные ранги и уровни заработной платы: распределение окладов начинающих сотрудников соответствовало шести цифровым грейдам, а квалифицированных работников – буквенным зарплатным уровням – Q, R, S, T, U, V. При этом средний должностной оклад цифрового грейда составил 24000 рублей, в то время как стартовый оклад сотрудника с буквенным рангом может быть более 38000 руб. (пересмотр заработной платы и ранга предусматривался два раза в год).

Однако, практический опыт работы в КБ «Ситибанк» показывает, что повышение зарплатного уровня не всегда зависит только от качества выполнения функциональных обязанностей и результатов деятельности работника. К сожалению, такая система стимулирования зачастую приводит к нарушению качества обслуживания клиентов, повышению теку-

чести кадров, невозможности реализации кадрового потенциала сотрудников банка.

В качестве примера успешной реализации современных зарубежных технологий повышения эффективности персонала можно рассмотреть деятельность КБ «Уралсиб». В этом банке более пяти лет успешно функционирует прогрессивная система стимулирования персонала, основанная на ключевых показателях эффективности (КПЭ) работы сотрудников различных категорий с соблюдением принципа единства стратегии, процессов и организационной структуры. Для выполнения годовых планов на различных уровнях бизнеса обозначаются план-фактовые значения показателей деятельности. КПЭ банка методом каскадирования раскладываются на ключевые показатели департаментов, отделов и работников. В системе стимулирования банка КПЭ играют роль коэффициента трудового участия, а сумма бонусного вознаграждения рассчитывается на бизнес-единицу по фондообразующим критериям и внутри подразделения распределяется с учетом исполнения должностных обязательств. В соответствии с утвержденной картой сбалансированных оценок разрабатывается индивидуальный план каждого сотрудника с развесовкой по ключевым показателям деятельности [3]. Несмотря на ряд преимуществ такой системы стимулирования, зарубежный и отечественный опыт измерения КПЭ в различных организациях показывает, что зачастую возникают трудности сбора и обработки большого объема информации для регулярного и своевременного анализа деятельности отдельных сотрудников, а также сложные формы отчетов ослабляют заинтересованность руководства коммерческих банков этой системой.

В последнее время наиболее распространенным диагностическим подходом является определение рейтинга работы персонала в российских компаниях путем аттестации методом «360 градусов», основанным на комплексном анализе субъективных оценок окружающих отдельного сотрудника людей [4]. Несмотря на то, что с помощью такой рейтинговой системы можно аттестовать любого сотрудника организации, на практике в коммерческих банках она применяется, в основном, для оценки качества работы руководящего звена. При этом эффективность деятельности руководителя оценивается по всему кругу (360 градусов) его взаимодействий: с непосредственным линейным и функциональным руководителем, с коллегами, с подчиненными, с клиентами, с партнерами, а также учитывается самооценка и личное восприятие результатов своей работы (рис.).



Рис. Схема диагностики сотрудника руководящего звена по принципу метода «360 градусов»

Автором данного метода П. Уордом предполагалось, что применение такого вида диагностики, позволит получить объемную картину, понять насколько эффективно работник высшего звена выполняет свои обязанности, выявить его сильные и слабые стороны [4]. Результаты аттестации по методу «360 градусов» дают возможность выработать стратегию мотивации и развития персонала руководящего звена, усовершенствовать стиль руководства и повлиять на поведение подчиненного сотрудника. Среди основных преимуществ метода аттестации «360 градусов» следует выделить возможность получения одновременно качественных и количественных оценок работы, а также повысить объективность оценивания за счет вовлеченности большого количества людей, находящихся на различных иерархических уровнях организационной структуры.

Однако для получения объективной обратной связи сотрудников друг о друге возникает необходимость обеспечивать высокий уровень конфиденциальности. Поэтому внедрение такой системы требует дополнительного привлечения сторонних организаций для сбора и анализа информации. К сожалению, данная методика не является универсальной, в большинстве случаев она дает представление только о личностных качествах и не подходит для определения квалификационного уровня сотрудников и прибыли, которую они приносят компании.

В развитие действующей практики перехода от интуитивной оценки деятельности персонала коммерческого банка и стимулирования его результативности необходимы более точные и объективные оценочные

показатели успешности банковского бизнеса, эффективности работы сотрудников и руководителей отделений, а также критерии, которые будут определять соответствующий уровень вознаграждения в условиях влияния правовых, административных, технологических, рыночных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карамутдинова Д.М. Внедрение системы грейдинга для повышения эффективности деятельности научно-исследовательских проектных институтов / Д.М. Карамутдинова, Н.В. Валитова, Ю.Р. Шакурьянова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2013. – №1. – С. 409-417.
- [2] Кузьмина Н.М. Совершенствование системы тарификации с использованием градации видов труда / Н.М. Кузьмина, О.М. Назаров // Организатор производства. – 2011. Т.48. – №1. – С. 44-45.
- [3] Ивановская Л.А. Анализ реализации функции мотивации в российских банках / Л.А. Ивановская // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/03/3970>
- [4] Уорд П. Метод 360 градусов / П. Уорд. – М.: Гиппо, 2006 г. – 352 с.

РОЛЬ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Л. О. Андреева, к. п. н.,

Е. О. Лавриненкова, аспирант

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием

Российский университет дружбы народов

ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Статья посвящена вопросу роли финансового анализа в системе управления предприятием. Выявлены и проанализированы характерные черты финансового анализа, обоснована его роль в процессе принятия управленческих решений.

Ключевые слова: рыночная экономика, доход, убыток, финансовый анализ, система управления, финансовые показатели, платежеспособность, отчетность.

В современных условиях для выживания и сохранения долгосрочной конкурентоспособности предприятию вне зависимости от его отраслевой структуры необходимо постоянно корректировать и согласовывать свою деятельность с меняющимися условиями внешней среды. Из-за сложной

политической и экономической ситуации, а также внутренних проблем, связанных с неэффективной системой маркетинга, нецелесообразным использованием средств и несбалансированными финансовыми потоками, у предприятия могут возникнуть серьезные финансовые трудности.

Во избежание ухудшения финансового состояния предприятия к функциям менеджера, как основного управляющего звена организации, наряду с уже существующими, такими как планирование, организация, командование, координация и контроль, стали включать и экономическое обоснование принятого управленческого решения

Экономическое обоснование принятия управленческих решений чаще всего базируется на анализе показателей текущей финансово-хозяйственной деятельности организации. Данный анализ позволяет проанализировать выгодность принятия решения по покупке-продаже пакетов акций, оценить привлекательность инвестиционного проекта, дать оценку платежеспособности и финансовой привлекательности компании. Финансовый анализ предприятия используется также для оценки надежности партнеров, для определения эффективности использования материальных, производственных и трудовых ресурсов. Грамотное использование данных, полученных в результате проведения финансового анализа, позволяет выявить и спрогнозировать уже существующие, а также потенциальные проблемы.

Главным источником данных для проведения финансового анализа являются формы бухгалтерской отчетности, а именно:

- бухгалтерский баланс - форма №1;
- отчет о прибылях и убытках – форма №2;
- пояснения к бухгалтерскому балансу и отчету о прибылях и убытках;
- отчет об изменениях капитала - форма №3;
- отчет о движении денежных средств - форма №4;
- приложение к бухгалтерскому балансу – форма № 5;
- отчет о целевом использовании полученных средств - форма №6;
- итоговая часть аудиторского заключения
- пояснительная записка

Основными документами для проведения финансового анализа являются первые четыре формы отчетности, их краткая характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

Краткая характеристика форм отчетности

Бухгалтерский баланс (форма №1)	Является наиболее информативным документом для анализа (на основе данной информации проводится оценка структуры ресурсов имеющихся у предприятия, проводится анализ их ликвидности, оценивается платежеспособность предприятия и производится прогнозирование будущей потребности в привлечении дополнительных средств.)
Отчет о прибылях и убытках (форма № 2)	Отчет дает информацию о доходах, расходах и финансовых результатах деятельности предприятия за отчетный период. Позволяет выявить чистую прибыль/убыток предприятия.
Отчет об изменениях капитала (форма № 3)	Отчет раскрывает информацию об изменениях в составе собственного капитала предприятия на текущий период. Данные изменения происходят в результате смены курса учетной политики, изменения размера дебиторской задолженности, а также переоценки активов.
Отчет о движении денежных средств (форма № 4)	Отчет содержит информацию о наличии положительных и отрицательных денежных потоков, динамике чистого денежного потока по всем видам деятельности, в нем также отражено качество управления денежными потоками предприятия.

Финансовый анализ делится на внешний и внутренний.

Внешний финансовый анализ базируется исключительно на данных публичной финансовой отчетности. Внутренний финансовый анализ использует информационную базу данных как публичной, так и внутрихозяйственной отчетности. Он является наиболее мощным инструментом при принятии управленческих решений.

Разделы финансового анализа представлены на рис. 1.

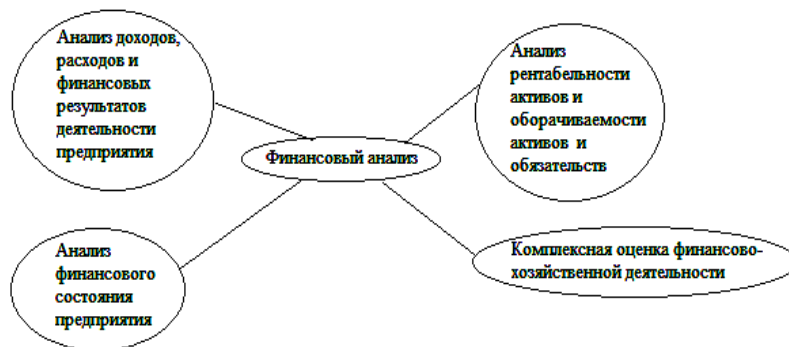


Рис.1. Разделы финансового анализа [1, с. 5]

Анализ доходов, расходов и финансовых результатов деятельности предприятия. Одной из основных целей любой коммерческой организации является максимизация доходов и рост благосостояния ее соучредителей (акционеров).

В международной практике под доходами принято понимать приращение экономических выгод в течение отчетного периода, происходящее в форме притока или увеличения активов либо уменьшения обязательств, что выражается в увеличении капитала, не связанного с вкладами участников акционерного (складочного) капитала [2].

Доходы, в свою очередь делятся на две составляющих:

- Доходы от обычных видов деятельности (выручка от продаж, денежные поступления, связанные с выполнением работ, оказанием услуг)
- Прочие доходы (доходы от внереализационной деятельности, доходы от операционной деятельности)

Анализ рентабельности активов и оборачиваемости активов и обязательств. Анализ направлен на определение эффективности управления активами предприятия, другими словами - он характеризует степень интенсивности использования активов предприятия. Анализ ведется при помощи сопоставления результатов коммерческой деятельности предприятия и объемов затраченных ресурсов.

Под оборотом актива понимается цикл в результате которого актив приобретает свою денежную форму. Цена продукции предприятия обязательно включает в себя и стоимость активов, при этом стоимость различных активов переносится на стоимость изделия по-разному, так например стоимость внеоборотных активов может переноситься на продукцию в течение нескольких лет, а оборотных активов - в течение года.

Возврат актива в денежную форму происходит посредством реализации готовой продукции. Отсюда следует, что скорость оборачиваемости активов прямо пропорциональна ликвидности продукции выпускаемой предприятием.

Быстрая оборачиваемость активов ведет к:

- Увеличению прибыли при неизменном объеме активов;
- Сокращению объема обязательств;
- Повышению эффективности производства

Наиболее часто употребляемые показатели оборачиваемости представлены на рис. 2.

Анализ финансового состояния предприятия. Финансовое состояние предприятия определяется двумя основными факторами:

- Выполнение финансового плана;
- Оборачиваемость оборотных средств

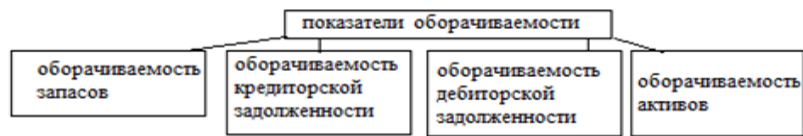


Рис. 2. Показатели оборачиваемости

Главный критерий оценки финансового состояния предприятия - его платежеспособность. Однако данный показатель является комплексным и зависит также от результатов хозяйственной и производственной деятельности предприятия.

Основными задачами анализа финансового состояния предприятия являются:

- Определение благополучия предприятия;
- Изучение динамики финансового состояния предприятия за отчетный период;
- Изучение финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия

В анализе финансового состояния предприятия принято выделять следующие разделы:

- Структурный анализ активов и пассивов
- Анализ финансовой устойчивости, характеризующейся удовлетворительной или неудовлетворительной структурой баланса и отражающей финансовые результаты хозяйственной деятельности
- Анализ ликвидности предприятия, под которым понимается степень покрытия обязательств предприятия его активами, срок превращения которых в денежные средства соответствует сроку погашения обязательств
- Анализ платёжеспособности, то есть способности предприятия вовремя удовлетворять платежные требования поставщиков, возвращать кредиты и займы и другие платежи [1, с.117-118].

Комплексная оценка финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Комплексная оценка финансового состояния предприятия занимает важное место в системе финансового анализа. Она может быть проведена либо на первом этапе финансового анализа предприятия, как предварительная оценка, либо в конце - для заключительной оценки и подведения итогов анализа.

В условиях динамично развивающегося рынка потребность в своевременной и точной информации о финансовом состоянии предприятия, его деловой активности, финансовых результатах за отчетный период, конкурентоспособности, надежности существенно возрастает.

Существует две основных группы методов комплексной оценки финансово-хозяйственной деятельности предприятия:

- Эвристические методы
- Расчет единого интегрального показателя

Рассмотренная методика финансового анализа является комплексной. В процессе финансового анализа задействованы не только хозяйственные, но и производственные показатели. На наш взгляд данная методика позволяет наиболее полно оценить состояние предприятия и получить исчерпывающую информацию по многим направлениям его работы, которая является базой для принятия взвешенного и экономически обоснованного управленческого решения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шеремет А. Д., Негашев Е. В. Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций. – 2-е изд., перераб. и доп.- М.: ИНФРА-М, 2013. – 208 с.
- [2] ПБУ 9/99. Доходы организации. Утверждено Приказом Минфина РФ от 6 мая 1999 г. № 32н (в ред. Приказов Минфина России от 30.12.1999 № 107н, от 30.03.2001 № 27 н. от 18.09.2006 № 116н, от 27.11.2006 № 156н, от 25.10.2010 № 132н, от 08.11.2010 № 144н, от 27.04.2012 № 55н).

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

Т.Б Иванова, *к.с.н.*

Екпободо Оввиго Раймонд, *аспирант*

Кафедра инженерный бизнес и управление предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В данной статье рассматриваются значения инженерного образования (педагогика) и подготовки кадров в области инженерной педагогики для экономического развития в Нигерии, а также в обсуждении проблем укрепления взаимоотношений инженерного образования с потребностями экономического развития.

Ключевые слова: инженерное образование, экономика развития.

Основным двигателем развития любого государства является накопление человеческих знаний, а основным источником различия уровня жизни между государствами является наличие человеческого капитала [1]. Практическая значимость исследования исследования актуальна для

всех стран, включая Нигерию. Значимость исследования может быть распространена на все страны, стремящиеся к экономическому росту. Прогнозируемые выводы данного диссертационного исследования направлены на поощрение молодых людей при выборе инженерной специальности, совместно с управлением бизнеса и персоналом. Данное направление включает в себя инновационные и творческие подходы во время обучения. Выпускники инженерных специальностей должны иметь необходимые знания и компетентность интегрировать научные подходы и принципы для разработки продуктов и процессов, которые способствуют экономическому росту своих стран [2].

Большое количество исследований показывают, что начальное и среднее образование тесно связаны с ускорением экономического роста любого государства, которое может внести значительный вклад в национальные экономические показатели и имеет эффект человеческого капитала, который способствует привлечению прямых иностранных инвестиций. Но существуют два основных важных аспекта. Во-первых, качество начального и среднего образования, особенно в технических навыках и науке, является более важным, чем количество лет обучения. Во-вторых, равный доступ к обучению для бедных студентов, а особенно для девушек, что сможет способствовать повышению темпов экономического роста в стране [3].

Развитие инженерного образования должно быть неотъемлемой частью стратегии национального развития. В ситуации, в которой инженерное образование в Нигерии будет далеко от прогресса, то, скорее всего, оно потеряет значимость и в дальнейшем станет частной финансируемой услугой, а не существенной инвестицией в экономический и социальный прогресс.

Другими словами, рассматривая возможности воздействия инженерного образования на женщин вне критерия экономической эффективности, можно отметить, что инвестиции в женское инженерное образование опережают мужское инженерное образование [4].

Так как участие женщин в инженерном образовании ниже, чем у мужчин, то возможность воздействия значительно влияет на общий уровень инженерного образования, состояние здоровья, и роста численности населения. Они имеют косвенное воздействие и возможность влияния на производительность труда и, следовательно, роста экономики. Было установлено, что женское инженерное образование по статистике имеет значительное положительное влияние на производительность труда, в отличие от мужского образования [5]. Такие страны, как Индия, Япония, Китай, Америка и Россия показали хороший анализ, сильную обратную корреляцию в значении разрыва между мужским и женским образованием и показателями социально-экономического развития.

Труд образованных и качественных инженеров становится все более востребованным как потребительский спрос на более ценные товары. Прибыль, полученная от инженерного образования, приводит к увеличению инвестиций в области инженерного образования [6]. Одним из важных результатов этого являются инвестиции, которые родители выделяют для образования на каждого ребенка. Это естественно повышает ценность каждого ребенка и приводит к уменьшению рождаемости детей. Экономическое развитие наряду с инвестициями в образование и повышением доступа к инженерному образованию для женщин являются основными предпосылками к развитию инвестирования в инженерное образование [7].

Нынешнее исследование показывает негативные тенденции между образовательным капиталом выпускников университетов и экономическим ростом в Нигерии. Результат исследований можно использовать для оценки новых краткосрочных и долгосрочных перспектив. Но, с другой стороны, не было существенной причинно-следственной связи между экономическим ростом и инженерным образовательным капиталом. Правительство должно участвовать в развитии сектора инженерного образования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] HIGHER EDUCATION MANAGEMENT AND POLICY – VOLUME 17, No. 2 – ISSN 1682-3451 – © OECD 2005.
- [2] Ekeh, J.C. (2008) Redefining Engineering Education to meet the Need of Developing Countries, Presentation at the Covenant University Friday Fellowship on Achieving and Driving Teaching Quality in 21st Century African Universities, 18th April, 2008.
- [3] Altbach, P. G. (1998), Comparative Higher Education: Knowledge, the University, and Development, Hong Kong: Comparative Education Research Centre, The University of Hong Kong.
- [4] Carter, K. (2011). Occupations of the 21st century. In J. Ritz & P. S. Bevins (Eds.), The connection to the 21st century workforce: Technology and engineering education (pp. 14-21). Reston, VA: International Technology and Engineering Educators Association.
- [5] Adeniran, I.A (2009). Differentials in education opportunity and women disempowerment in Nigeria. A paper presented at the 4th women in Africa, African diaspora (WAAD) international conference held in Abuja from 3rd – 8th August, 2009.
- [6] Downey, G. 2005. Are Engineers Losing Control of Technology? From “Problem-solving” to “Problem Definition and Solution” in Engineering Education. Chemical Engineering Research and Design 83(6):583–595.
- [7] Padmanabhan, K.A. (2000). Engineering Education and Practice: Need for Restructuring, available at: http://www.iitk.ac.in/infocell/Archive/dirjan2/cover_story.html, (accessed June 29, 2009).

АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Г.М. Кутлыева, к.т.н.

Н.А. Петенко

Е.П. Назаренков, к.п.н.

Ромеро Барренчеа Моисес Эсау

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием

Российский университет дружбы народов

ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Статья посвящена вопросу совершенствования в системе управления персоналом предприятия. Выявлены и проанализированы характерные черты эффективного управления персоналом, обоснована его роль в процессе принятия управленческих решений.

Ключевые слова: организация труда, управление персоналом, условия труда, анкетирование, текучесть кадров, эффективность.

Управление персоналом занимает ведущее место в системе управления предприятием и считается основным фактором его экономического успеха. Достичь высоких производственно-экономических результатов деятельности хозяйства возможно путем достижения высокой эффективности труда работников. Понятие эффективности представляет собой комплекс факторов и критериев рациональной организации труда[2,4]. В тоже время неэффективная система управления персонала приводит к снижению качества продукции или работ, увеличению производственных издержек, что негативно сказывается на результативности деятельности компании.

Для различных организаций цели системы управления персоналом варьируются в зависимости от характера деятельности организации, объемов производства, стратегических задач и концепций управления.

В научной литературе существует несколько подходов к оценке эффективности управления персоналом. В частности, это определение «Система управления персоналом включает в себя следующие элементы: цели и задачи, методы управления, организационная структура управления, информационное и технологическое сопровождение [1,3]. Иными словами: система управления персоналом в организации – это разработка и установление целей и задач; принципов управления персонала; объектов, на который будет направлено управленческое воздействие за счет реализации функций управления; подбор методов управленческого воздействия и основных подходов к оценке эффективности.

В соответствии с результатами, выявленными в ходе анализа системы управления персоналом компании «Антан», нами были определены основные цели, которые должны решить проектируемые мероприятия.

Основная цель проектируемых мероприятий – повышение эффективности управления персоналом.

Основные цели и задачи, которые необходимо решить предприятию в соответствии с поставленными целями, представлено на рис. 1.

В соответствии с поставленными целями и задачами, и проблемами в системе управления персоналом, выявленных в ходе исследования, были определены методы, с помощью которых они будут решены.

Методы, используемые для решения поставленных задач представлены в табл. 1.

Реализация поставленных целей была достигнута за счет реализации следующего комплекса мероприятий:

1. Разработка комплекса мероприятий по повышению качества подготовки персонала.

2. Разработка мероприятий по повышению эффективности системы мотивации персонала. За счет внедрения программы профессионального роста сотрудников и разработки системы премирования на основе оценки эффективности работы каждого работника в соответствии с его профессиональными компетенциями.

3. Внедрение нового программного обеспечения.



Рис. 1. «Дерево целей и задач» программы

Таблица 1

Методы, используемые для решения поставленных задач

Задача	Проблема	Методы решения
Снижение текучести кадров	Неэффективная система материальной и нематериальной мотивации	Социально – психологические и экономические методы
Повышение степени удовлетворенности работников условиями труда	Неэффективная система нематериальной мотивации	Социальные методы
Улучшение психологического климата в коллективе	Высокий уровень возникновения конфликтных ситуаций	Психологические методы
Низкий уровень квалификации персонала	Высокий уровень брака	Социальные методы
Неэффективное программное обеспечение управления персоналом	Низкая скорость принятия управленческих решений	Организационные методы

За счет реализации данного комплекса мероприятий планировалось изменения степени удовлетворенности сотрудников условиями труда.

Прогнозируемую оценку повышения степени удовлетворения персонала условиями работы проводилась методом опроса.

Цель опроса является выявить, как персонал компании отнесется к изменениям в системе управления.

Основная целевая аудитория – все сотрудники предприятия. Объем выборки составляет – 40% сотрудников компании.

Методика проведения исследования – письменное анонимное анкетирование.

На вопрос: «Как вы относитесь к идее разработки планирования профессионального роста каждого сотрудника?» были получены следующие данные: Результаты опроса на вопрос более 90% работников компании относятся положительно к идее внедрения программы профессионального роста работников.

На вопрос: «Как вы относитесь к идее подбора программ повышения квалификации для каждого работника индивидуально?» были получены следующие данные: 95 % сотрудников положительно отнеслись к идее - подбора программ повышения квалификации для каждого работника индивидуально

На вопрос: «Как вы относитесь к тому, что система мотивации будет основываться на основе оценки каждого работника в работу компании?» были получены следующие данные: 46 % сотрудников компании положительно относятся к внедрению системы мотивации, которая будет основываться на основе оценки каждого работника в работу компании.

На вопрос: «Предложенный выше комплекс мероприятий повлиял бы на Ваше решение остаться работать в компании?» были получены следующие данные: 83 % сотрудников компании ответили, что прогнозируемые изменения оказали бы влияние на их решения остаться работать на данном предприятии.

На основе проведенных исследований, были нами разработаны мероприятия по снижению текучести кадров и повышения степени удовлетворенности персоналом организациями условий работы и спланированы прогнозируемые изменения, представленные в табл.2.

Таблица 2

Прогноз изменения движения кадров

Показатели	2014г.	прогноз	Изменение (чел)
Среднесписочная численность работников, чел.	2500	2500	0,00
Принято с начала года, чел.	1565	907	-658,00
Выбыло за год, чел.	1273	432	-840,00
Коэффициент приема, %	63	36,28	-26,72
Коэффициент увольнения, %	51	17,28	-33,72
Коэффициент текучести, %	51	17,28	-33,72

Как видно из таблицы прогнозируется, что коэффициент приема снизится с 61 в 2014 году до 36,28 %. Коэффициент увольнения с 56,36 % в 2014 году до 39,9 %. Коэффициент текучести с 51% до 17,28 %.

Оценка прогнозируемого влияния реализации комплекса мероприятий на эффективность системы управления компании проводилась балльным методом. Цель исследования определить на основе анализа критериев оценки эффективности работы системы персонала до реализации проекта и после. Данные исследования представлены в табл.3

Таблица 3

Прогноз оценка эффективности работы отдела кадровой службы компании

Критерии оценки	После реализации проекта	До реализации проекта	Изменение
Автоматизация деятельности	9	9	0
Внедрение инноваций	10	0	+10
Уровень аттестации персонала	9	9	0
Степень удовлетворенности персонала условиям работы	7	4	+3
Программы повышения квалификации персонала	8	7	+1
Эффективность управления карьерой сотрудников	8	0	+8
Снижение затрат связанных с текуче-	7	0	+7

стью кадров			
Итого	52	23	+29

Как видно из анализа данных таблицы 3 за счет реализации комплекса мероприятий прогнозируется увеличение эффективности управления персоналом на 29 баллов.

Таким образом, основные аспекты, которые рекомендуются включать в систему управления персоналом организации – это разработка комплекса мероприятий по повышению качества подготовки персонала; принципов и способов воздействия на работников предприятия с целью осуществления координации их деятельности в процессе функционирования, разработка мероприятий по повышению эффективности системы мотивации персонала. За счет внедрения программы профессионального роста сотрудников и разработки системы премирования на основе оценки эффективности работы каждого работника в соответствии с его профессиональными компетенциями.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Васина Д.В. Управление персоналом. Учебное пособие. М.: Изд-во МАРТИТ, 2010 - С.12
- [2]. Дейнека А.В. Управление персоналом: Учебник. М: Дашков и К, 2010 – С.28
- [3]. Кибанов А.Я., Каштанова Е.В. Управление персоналом: теория и практика. Управление деловой карьерой, служебно-профессиональным продвижением и кадровым резервом : учеб.-практ. пособие . Гос. ун-т упр.. – М. : Проспект, 2011 – С.28
- [4]. Цель организации труда/ Электронный ресурс – (<http://www.jbuilder.ru>)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.Д. Долгушин, к.т.н.

В.А. Красавина

Л. Н. Ахмедова

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены основные методы оценки и моделирования конкурентоспособности продукции и предприятий оптической отрасли. На основе корреляционно-регрессионного анализа экономических показателей предприятий отрасли разработана модель конкурентоспособности

отдельного предприятия. Приведены рекомендации по повышению конкурентоспособности рассмотренного предприятия

Ключевые слова: моделирование конкурентоспособности, многофакторный регрессионный анализ, предприятия оптической отрасли.

Конкурентоспособность компании – комплексное понятие, выражающее готовность соперничать с другими участниками рынка. Конкурентные преимущества, такие как высококачественные товары и услуги, современные технологии, первоклассный профессионализм сотрудников, определяют благополучие организации на рынке или в отрасли.

Вопросы конкуренции и конкурентоспособности весьма остро стоят для предприятий оптической промышленности России. Образованные во времена СССР, их интересы почти не пересекались, конкуренции не было. Настоящая конкурентная борьба в отрасли появилась совсем недавно, осложненная при этом наличием иностранных фирм-соперников. В связи с этим возникла потребность в постоянной сравнительной оценке своих конкурентных позиций на рынке для выработки комплекса мер по их укреплению.

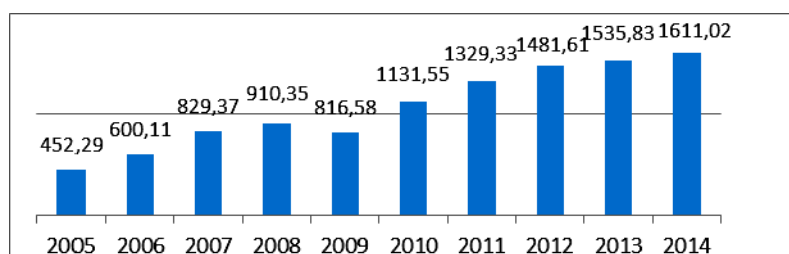
История оптической промышленности России уходит истоками к началу XX века, когда в 1905 году открывается первая государственная оптическая мастерская при Обуховском сталелитейном заводе. Тогда же правительство страны начало международное сотрудничество с оптическими организациями Германии – фирмами Цейса и Герца, - заключив договоры на организацию на территории России 2-х оптико-механических заводов.

В 1918 году в России создается Государственный оптический институт, главной деятельностью которого становится создание микроскопов для нужд армии. В 1933 году образуется Всесоюзное объединение оптико-механической промышленности (ВООМП), собравшее 7 заводов.

Российская оптическая промышленность смогла занять мировые позиции, начиная с 1948 года, став основным экспортером фотоаппаратов и камер, способных конкурировать с зарубежными аналогами по соотношению цена/качество. Помимо товаров массового потребления, научная оптика России также высоко ценилась среди мировых потребителей [1].

В настоящее время доля оптической промышленности в структуре обрабатывающих производств составляет 5,77% [2].

Динамика объемов произведенного оптического оборудования за период с 2008 по 2014 годы приведена на рис. 1.



Источник: рассчитано по данным [2].

Рис. 1. Производство оптического оборудования в РФ, млн. руб.

Основные отечественные и зарубежные предприятия оптической промышленности приведены в табл. 1.

В данной работе дана оценка конкурентоспособности ОАО Лыткаринский завод оптического стекла (ЛЗОС), сначала в сравнении с ближайшим конкурентом ОАО «ЛОМО» (г. Санкт-Петербург), а затем в сопоставлении со всеми отраслевыми конкурентами [3].

Таблица 1

Основные предприятия оптической отрасли

Наименование организации	Направление деятельности или продукция				Объем выручки, млн. руб.
	Оптико-электронные системы (ОЭС)	Оптические материалы	Медицинская техника	Гражданская продукция	
ОАО «ЛОМО» (г. Санкт-Петербург)	•	•	•	•	3135
ОАО «ЛЗОС»	•	•	•	•	2702
ОАО «КОМЗ» (г. Казань)	•		•	•	1614
ОАО «РОМЗ» (г. Ростов)	•			•	1015
ОАО «ЗОМЗ» (г. Сергиев Посад)	•		•	•	736
ОАО «УОМЗ» (г. Екатеринбург)	•		•	•	6337
Schott Group (Германия)		•	•	•	84782
Ноуа Согр. (Япония)		•	•		116
Corning Inc. (США)		•	•		256
Olympus (Япония)		•	•	•	231
Vaisala (Финляндия)				•	12286
Levenhuk (США, российский филиал)				•	365
Сумма по выборке					113573

Источник: составлено авторами по данным финансовых и технических отчетов, опубликованных на сайтах компаний.

Выбор конкурентов ОАО «ЛЗСО» осуществлялся с учетом следующих правил:

- сегментация рынка (предприятия действуют на рынке оптической промышленности);
- продуктовый ассортимент (представленные фирмы изготавливают аналогичные или взаимозаменяемые товары);
- выручка конкурентов должна быть не менее 10% от выручки оцениваемого предприятия.

Достоинства и недостатки методов оценки конкурентоспособности продукции или предприятия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Преимущества и недостатки основных методов оценки конкурентоспособности предприятия

Метод оценки	Преимущества	Недостатки
Методы, основанные на измерении полезного эффекта продукции	- оценка важнейших показателей – качества и цены	- сложность количественной оценки полезного эффекта продукции
Методы экспертных оценок	- охват наиболее значимых характеристик конкурентоспособности продукции; - простота	- субъективность экспертов; - отсутствие натурального выражения оценки
Многоугольник конкурентоспособности	-наглядность; - простота сравнения по выбранным показателям	- сложность определения нормируемых значений для некоторых показателей
Матрица МакКинси	- гибкость; - учет многих важных факторов; - наглядность	- требует дополнительного анализа от руководства
Матрица БКГ	- объективность используемых критериев - наглядность	- недостаточно критериев; - статичность
Операционные	- учет различных параметров; - высокая точность результатов	- трудоемкость расчетов; - разная размерность выбранных факторов
Основанные на оценке стоимости бизнеса	- высокая достоверность результатов	- трудоемкость; - труднодоступность финансовой информации
Динамические методы	- сочетание оценки конкурентоспособности продукции и эффективности операционной деятельности фирмы	- ограниченность доступа к финансовым данным некоторых предприятий

Для создания модели конкурентоспособности в работе применен корреляционно-регрессионный анализ, состоящий из следующих этапов:

- выделение и классификация факторов, влияющих на показатель конкурентоспособности $K_{пр}$,
- расчет вектора оценок коэффициентов регрессии и формирование уравнения множественной регрессии;
- оценка значимости и адекватности выделенных факторов в полученном уравнении, определение значений парных коэффициентов корреляции;
- формирование окончательного вида модели множественной регрессии по методике, представленной в [7, 254].

Выделенные факторы пометим следующими значками (при возрастании данного фактора):

- (+) - влияние на конкурентоспособность положительное,
- (-) - влияние отрицательное,
- (?) - влияние неоднозначное.

X_1 – выручка, млн. руб. (+);

X_2 – доля заемного капитала в его общем размере, % (-);

X_3 – выработка на 1-го работника, млн. руб./чел. (-);

А также затраты в млн. руб.:

X_4 – оплата труда персонала (?); X_5 – техническое обслуживание (в т.ч. ремонт, модернизация) (+); X_6 – обеспечение качества (+); X_7 – на энергоресурсы (?); X_8 – на маркетинг (+); X_9 – на инновационные технологии (+); X_{10} – на охрану окружающей среды (+); X_{11} – на обучение, повышение квалификации персонала (+); X_{12} – на несоответствующую продукцию (-); X_{13} – на обучение и повышение квалификации персонала (+); X_{14} – на логистику (?);

X_{15} – чистая прибыль, млн. руб. (+);

X_{16} – рентабельность продаж, % (+).

Применение корреляционно-регрессионного анализа способствует расширению информативности факторного анализа, а также позволяет оценить изменения показателя конкурентоспособности при проведении различных технических и экономических мероприятий.

В результате анализа была получена модель конкурентоспособности предприятий оптической промышленности:

$$K_{пр} = 1,748 + X_4 + X_6 - 4 * X_7 + 2 * X_8 + 160 * X_9 + 1,4 * X_{10} + 15,4 * X_{11} - 320 * X_{12} + 3 * X_{14} \quad (1)$$

Анализ финансовых отчетов ОАО «ЛЗОС» и других предприятий оптической отрасли за 2009-2013 гг. с использованием полученного уравнения позволил определить следующие интервалы показателя конкурентоспособности $K_{пр}$:

при $K_{пр} < 0,8$ – предприятие сильно отстает от конкурентов по отрасли;

при $0,8 \leq K_{пр} < 1$ – слабое конкурентное положение;

при $1 \leq K_{пр} < 1,2$ – удовлетворительный/положительный уровень конкурентоспособности;

при $1,2 \leq K_{пр} < 1,5$ – хорошее конкурентное положение;

при $K_{пр} \geq 1,5$ – высокий уровень конкурентоспособности.

Динамика показателя конкурентоспособности ОАО «ЛЗЭС» в 2009 - 2013 гг. приведена на рис. 2 и 3.

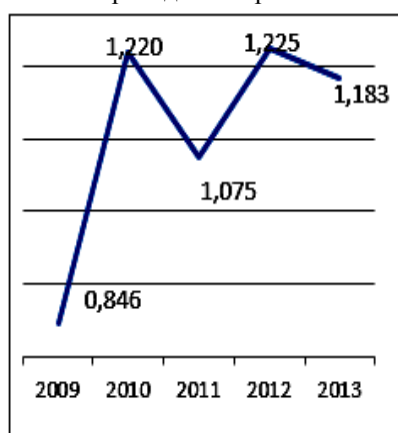


Рис. 2. Показатели конкурентоспособности ОАО «ЛЗЭС» (в сравнении с ближайшим конкурентом – ОАО «ЛЗМО») за 2009-2013 гг.

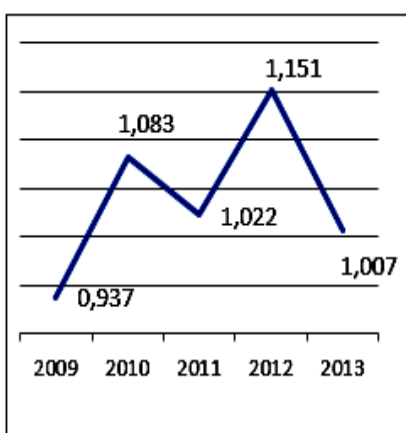


Рис. 3. Показатели конкурентоспособности ОАО «ЛЗЭС» (в сравнении с отраслевыми конкурентами) за 2009-2013 гг.

На основе полученной модели (1) для ОАО «ЛЗЭС» были разработаны мероприятия по повышению конкурентоспособности по следующим направлениям:

- увеличение затрат на оплату труда персонала, на обеспечение качества, на маркетинг, на обучение и повышение квалификации работников, а также повышение доли инновационной продукции и использования инновационных технологий;
- снижение расходов на потребление энергоресурсов, уменьшение брака производимой продукции;

Таким образом, полученное уравнение (1) позволяет определять уровень конкурентоспособности предприятия, анализировать степень и направление влияния на него различных факторов, а также планировать и

прогнозировать конкурентоспособность и разрабатывать мероприятия по её повышению.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Отраслевой обзор: оптическая промышленность. ЗАО «Рос Бизнес-консалтинг» [<http://ecsocman.hse.ru/text/16575104/>], [Дата обращения: 2.02.2015]
- [2] Федеральная служба государственной статистики [http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/otgruzka_D.xls], [Дата обращения: 2.02.2015]
- [3] Годовой отчет ОАО «ЛЗЭС» за 2012, 2013 год, Система раскрытия информации на рынке ценных бумаг [<http://www.disclosure.ru/issuer/5026000300/>] [Дата обращения: 4.01.2015-6.03.2015]
- [4] Минько Э.В., Минько А.Э Менеджмент качества: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2013. – 272 с.
- [5] Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации. Учебник. – М.: Изд-во Эксмо, 2012. – 544 с.
- [6] Арутюнова Д.В. Стратегический менеджмент: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 122 с.
- [7] Эконометрика: учебник / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Т.В. Костеева и др.; под ред. И.И. Елисеевой.–М.: Финансы и статистика, 2012.– 576 с.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА

Е.А. Ковалева, к.э.н.

М.А. Федотова

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

На данный момент современный человек все больше времени проводит на работе, совершенно не бывает на природе и почти не видит солнечный свет. Жизнь его проходит по расписанию «работа-дом-работа». Большие нагрузки, стресс, все это делает рабочие будни серыми, вызывает апатию и как следствие отвращение к работе и снижению эффективности, что приводит к ухудшению общих показателей.

Зачастую руководители компаний считают, что премия по концу года, небольшой корпоратив, который к слову многие сотрудники посчитали скучной и напрасной тратой времени, дают им право устанавливать по-

вышенные требования и нагрузки. В итоге сотрудники компании начинают увольняться, руководители не стараются удержать даже очень ценных сотрудников, работа которых приносила компании приличную часть прибыли, считая, что незаменимых сотрудников нет. Возникают недовольства и недоверие к руководству.

Но тот сценарий развития, который был описан выше – самый крайний и запущенный случай, встречается довольно-таки редко. В большинстве компаний помимо премий и корпоративов существуют и другие мотиваторы.

Для эффективной мотивации персонала необходимо учитывать множество факторов и потребностей персонала:

1. Потребность в поддержании жизнедеятельности;
2. Потребность в признании;
3. Потребность в общении;
4. Потребность в принадлежности к референтной группе;
5. Потребность в безопасности;
6. Потребность в обратной связи с руководством (сотрудничестве);
7. Потребность в эмоциональном напряжении;
8. Потребность в социальном статусе;
9. Потребность в подчинении;
10. Потребность в независимости;
11. Потребность в стабильности;
12. Потребность в конкуренции и т.д.

Так же можно разработать программу стимулирования сотрудников разделив их на группы по темпераментам. Ведь определив темперамент человека можно предположить сильные и слабые стороны сотрудника, чего ему не хватает, а главное можно определить, какой подход нужен к человеку и как его можно мотивировать на более эффективную работу.

К примеру, [1,с.109]:

1. Для холериков важными факторами являются свобода и самостоятельность, они отличаются высоким темпом работы и проявляют большой интерес к креативным видам работ и т.д. А вот давление со стороны руководителя и отсутствие возможности вертикального карьерного роста заставят такого сотрудника задуматься об увольнении;

2. Флегматику же важна стабильность и надежность предприятия, корпоративные традиции. Отличным мотиватором для него будет работа, которая потребует от сотрудника внимания, скрупулезности и тщательности;

3. Для меланхолика очень важным является внимание и хорошее отношение со стороны руководителя, позитивная атмосфера, хорошее отношение в коллективе и стабильная работа является очень мощными мотиваторами для сотрудников с таким видом темперамента;

4. А вот для сангвиника наиболее мотивирующим фактором является заработная плата. Так же на его эффективность могут повлиять: карьерный рост, корпоративные мероприятия, престижность и имидж его работы.

Основой, с которой надо начинать является дружеское отношение в коллективе. Ведь предприятие это одна большая «семья», которая трудится для достижения одной цели. А ничто так не стимулирует сотрудников к работе как осознание того, что каждый из них является важной частью системы, одного большого механизма. Необходимо создать такую атмосферу, в которой персонал начнет получать удовольствие от работы.

Во многом обстановка на предприятии и настроение сотрудников зависят от руководителя, но зачастую его поведение, метод управления является ошибочным. Руководитель не должен заставлять и давить на своих подчиненных, правильнее было бы с его стороны «заражать» сотрудников своей активностью и инициативностью.

Если рассматривать предприятие, где преобладают молодые и амбициозные сотрудники, можно предположить, что такому коллективу не подойдет консервативный руководитель. такому коллективу нужны инновации, чаще всего очень мощным стимулом для них является конкуренция. Следовательно, такому коллективу нужен руководитель – холерик. Он будет задавать темп всем своим подчиненным. Руководители с таким темпераментом очень активны, задают высокую планку коллективу, самым сильным мотиватором для такого руководителя будет успех, достижение поставленных целей, [1, с.113].

При наличии такого руководителя в компании можно быть уверенным, что он будет держать своих подчиненных на должном уровне. Естественно, сумасшедший темп и высокая планка это очень серьезная нагрузка для персонала, появится конкуренция между сотрудниками и для того, чтобы эта конкуренция не переросла в «войну» и полный хаос, необходимо прибегнуть к тимбилдингу, комплексу мероприятий, которые позволяют сплотить коллектив. Он поможет снять напряжение среди персонала сделать конкуренцию увлекательной, превратить ее в игру. Но и здесь надо учитывать то, что далеко не всем людям нравится участвовать в каких либо играх, спортивных соревнованиях. Будет намного лучше, если участие в этих мероприятиях будет добровольным, а сами игры простыми для восприятия, [2].

Сценарий таких мероприятий должен быть тщательно продуман, необходимо учитывать мнение сотрудников. Наиболее интересным и разносторонним мероприятием является квест, который может включать в себя множество разноплановых заданий: на логику, творческих и т.д. Таким образом, можно заинтересовать большее количество людей. Участвуя в квестах, сотрудники могут побывать как в роли командиров, так и в

роли подчиненных, таким образом можно дать возможность сотрудникам управлять своим начальством, на мой взгляд, это облегчит напряженную обстановку и поможет руководителю перевести конкуренцию из реальности в игру, пусть не полностью, но частично снимет напряженную обстановку в коллективе, [3].

Не всегда материальная мотивация персонала является наиболее эффективной, существует множество более эффективных нематериальных методов мотивации, которые могут не только увеличить эффективность сотрудников, но и улучшить атмосферу в коллективе. А самым главным мотиватором для персонала является личный пример и настрой руководителя, который как предводитель должен вести свой корабль и достигать все новые, более высокие цели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Самоукина Н.В. Эффективная мотивация персонала при минимальных затратах или как платить меньше, но чтобы работали лучше?: – Ростов н/Д: Феникс, 2014. – 238с.
- [2] Тимбилдинг или Counter-Strike во время работы [Электронный ресурс]: <http://www.ubo.ru/articles/?cat=123&pub=3375>
- [3] Тимбилдинг: приемы сплочения коллектива [Электронный ресурс]: <http://strana-sovetov.com/career/3208-team-building.html>.

КОРПОРАТИВНАЯ КУЛЬТУРА КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Е.А. Ковалева, к.э.н.

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

Статья посвящена влиянию корпоративной культуры на формирование и реализацию трудового потенциала.

Ключевые слова: корпоративная культура, трудовой потенциал, эффективность

Корпоративная культура - сложная, многоуровневая структура, охватывающая практически всю внутреннюю среду любой организации, она базируется на общей, национальной культуре, на её основе развиваются стратегия и философия, ценности и верования, сознательно разделяемые

работающими вместе людьми. Всё вышеперечисленное находит своё отражение в архитектуре и инфраструктуре здания, особенностях оформления рабочих мест, стиле одежды, манере общения, психологическом климате в коллективе, технологии производства и т.п. С одной стороны, корпоративная культура представляет собой «питательную среду» для формирования трудового потенциала, с другой, является результатом его реализации [1].

В качестве трудового потенциала можно рассматривать качественно – количественное выражение способности к физическому, интеллектуальному и духовно – творческому труду. К качественным характеристикам можно отнести состояние здоровья, физический и психофизический потенциал, объём общих и специальных знаний, трудовых навыков и умений, универсальные ключевые компетенции (высокая адаптивность, умение учиться, навыки эффективной коммуникации, в том числе межкультурной, умение работать в команде и эффективно сотрудничать, стремление к совершенствованию профессионального уровня, «экологичность»), а также лояльность по отношению к своей компании и социальная ответственность [2].

Корпоративная культура может быть эффективной средой для формирования трудового потенциала или наоборот угнетать его. На Рис.1 представлены структурные элементы корпоративной культуры, обуславливающие развитие эффективного трудового потенциала.

Для оценки эффективности формирования и реализации трудового потенциала можно использовать целый ряд показателей от роста объёма продаж, сокращения брака до качественных показателей работников (коэффициентов удовлетворённости, творческой активности и т.п.). На Рис.2 представлены составляющие корпоративной культуры, обуславливающие эффективность формирования и реализации трудового потенциала, и соответствующие показатели для его оценки.

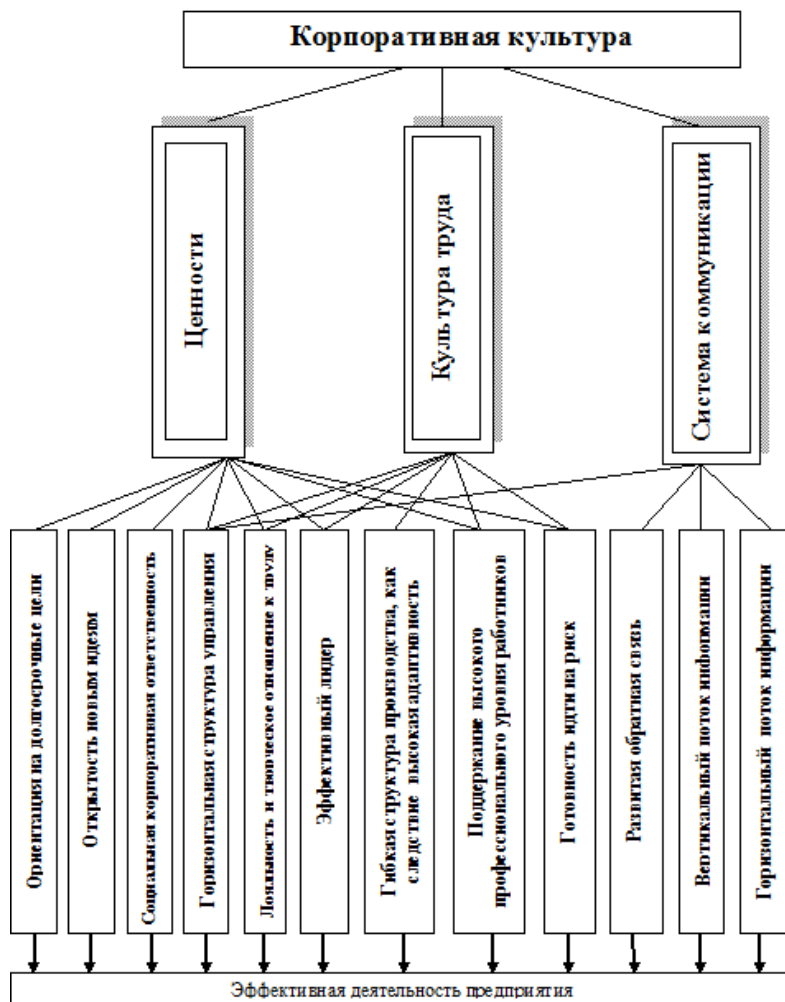


Рис.1 Структурные элементы корпоративной культуры, обуславливающие формирование эффективного трудового потенциала организации

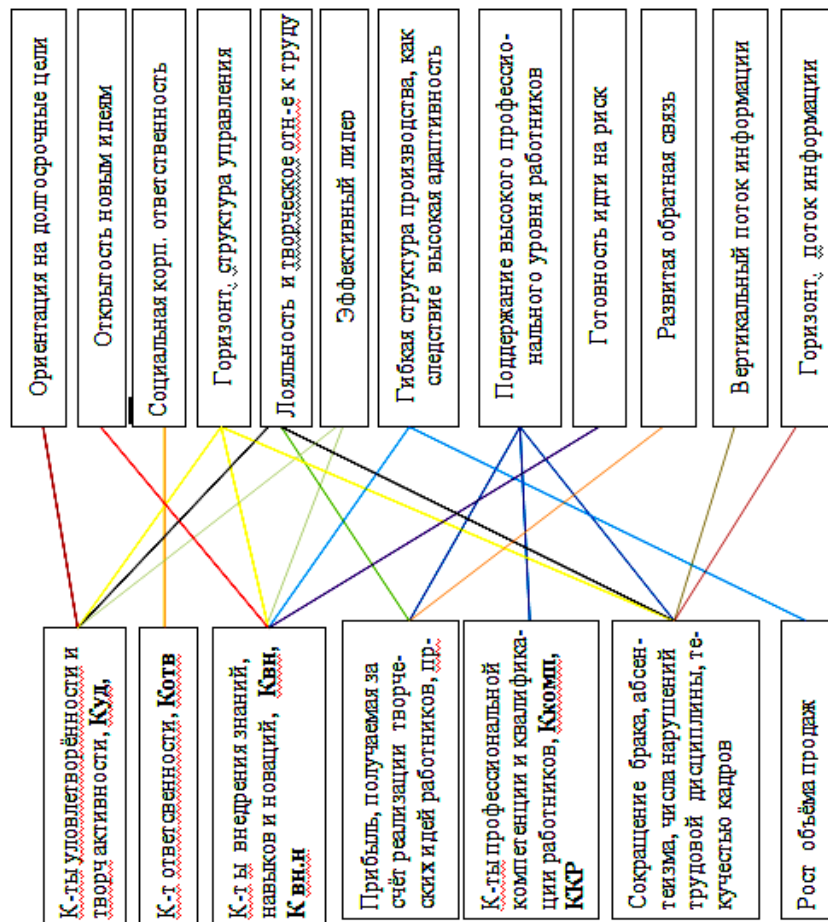


Рис.2. Показатели для оценки эффективности формирования и реализации трудового потенциала

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванова Т.Б., Журавлева Е.А. Корпоративная культура и эффективность предприятия. М.: Изд-во РУДН, 2001. – 145с.
 [2] Журавлёва Е.А. Роль образования в формировании трудового потенциала// "Вестник Ассоциации вузов туризма и сервиса" 2013/ № 3.- С. 8-9

МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК

Н.Ю. Сопилко¹, *к.э.н.*,
С.М. Лисицкая², *к.с.-х.н.*,
А.А. Ковалев¹

1 – Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

2 – Кафедра экологии
Национальный горный университет,
пр. К. Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49005

В статье авторами рассматривается проблема сложности информационного управления параметрами технологических цепочек горно-металлургического объединения. Отмечается возможность использования мониторинга для комплексного оперативного регулирования и обеспечения условий устойчивой деятельности производственных модулей.

Ключевые слова: технологическая цепочка, модульный участок (модуль), мониторинг, интегрированное предприятие, устойчивость параметров.

В условиях развития глобальной конкуренции закономерным для разных стран является стремление к переходу на уровень стабильного, легко управляемого, высокотехнологичного производства и ускорению темпов технического перевооружения [1]. Такие тенденции требуют оперативно-го выявления научно-технологических возможностей модернизации существующих секторов экономики, формирование новых и определения принципиальных направлений совершенствования отраслевого регулирования и быстрого внедрения перспективных технологий [2, 3]. Кроме того, развитие современных технических систем в рамках экологического пространства должно иметь оценку количества и опасности выбросов, обладать адаптивностью и эффективностью, обеспечению которых способствует контроль параметров использования регламентированных типов исходного сырьевого ресурса, аппаратурно-технологического оформления, качества выпускаемой продукции [4].

В этом аспекте важным инструментом научно-технической и инновационной политики может выступать проведение оперативного мониторинга деятельности предприятий-конкурентов, участвующих в технологических цепочках, которым отводится роль отдельных центров мирового производства определенного вида готовой продукции [5].

Поэтому цель данного исследования направлена на применение мониторинга для обеспечения оценки, своевременного регулирования ключе-

вых параметров производства с учетом системы возникающих обратных связей и реализации устойчивой технологической цепочки на примере крупнейшей вертикально интегрированной международной компании «Евраз».

Технологическая цепочка (ТЦ) интеграционного объединения «Евраз» представляет собой сложную систему производственно связанных горнодобывающих и металлургических предприятий с активами России, Украины, Европы, США, Канады и Южной Африки. При этом каждое из предприятий является отдельным комплексным производством. Так, ЧАО Евраз – ДМЗ им. Петровского включает несколько технологических модульных участков (модулей): доменный цех, кислородно-конверторный и два прокатных цеха (стана), каждый из которых оснащен специальными устройствами (печи, миксеры, ковши и др.), специальными механизмами (крановая эстакада, конвейеры, чугуновозные тачки) для выполнения операций по превращению сырья (железной руды разной степени обогащения) в конечный продукт (более 70 марок стали, а также разнообразный ассортимент металлической продукции: рельсы крановые разных типов, двутавровые балки, швеллеры, уголки, трубные заготовки, фасонные и специальные профили и другие металлические заготовки разных размеров). В данной ТЦ взаимосвязаны три основные схемы: технологическая (спецификация оборудования), система автоматизации (перечень измерительных, регулирующих приборов) и принципиальная (линии компоновки, проводки материальных потоков). Каждый типовой модуль ТЦ реализует определенную производственную функцию и должен иметь стандартные входные/выходные сопряженные параметры материалов и полученных целевых продуктов.

Многие методы АСУТП и алгоритмы контроля оказываются непригодными для эффективного управления и регулирования технологического процесса, так как по-прежнему осуществляется оператором на основе интуиции, практического опыта эксплуатации и разнообразных инструкций.

Учитывая, что в реализации ТЦ металлургического комплекса отличается разнообразием сырья (составом руды, степенью ее обогащения), видами и качеством получаемого металла, большим количеством контролируемых параметров, высокой пожароопасностью, сложными и тяжелыми условиями работы персонала производственных цехов (высокая температура, загазованность, ответственность в принятии решений по управлению персоналом), а также многообразием модификаций для систематического или непрерывного сбора информации о параметрах производственного объекта и определения тенденций их изменения, предлагается в качестве эффективного инструмента использование оперативного мониторинга.

Управление технологическими процессами на основе мониторинга ключевых показателей, который включает диагностирование, контроль, прогноз нарушений условий нормального функционирования модулей технологических систем, проводить комплексное регулирование количественных и качественных параметров процессов выплавки чугуна, различных марок стали (углеродистой, низколегированной, легированной) и количества вредных выбросов твердых (шлаковой и металлической пыли), жидких (сточных вод), газообразных (оксида углерода, оксидов азота и серы) позволит создать условия для решения задач оптимального и оперативного контроля, сбора и обработки информации, поступающей с техногенных участков, а также систематической оценки состояния работающих производственных модулей (рис.).



Рис. Система мониторинговых точек контроля параметров производства для обеспечения обратной связи и устойчивости в рамках ТЦ

Обратимая взаимосвязь инструментов управления качеством среды и информационными данными в производственной и экологической сфере

включает оценку степени изменений и допустимого уровня нагрузки, прогноз возможных нарушений и различные виды регулирования: административное (соответствие стандартам, ограничения, лицензирование производства); эколого-экономическое (платежи, налоги на загрязнение, штрафы на основе ущерба от загрязнения, субсидии, минимизация издержек и др.); рыночное (распределение прав на загрязнение, компенсационные платежи и т.п.).

Приоритетность системы оперативного мониторинга ТЦ заключается в ее возможности обеспечивать объединение больших объемов информации, реализацию расчетных и диагностических задач, требующих анализа разнородной технологической информации из разных систем АСУТП предприятия, сохранение архивов значений технологических параметров на неограниченном интервале времени, а также позволит модифицировать модульный участок производства, не перестраивая его принципы взаимодействия с другими модулями.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анисимов А.В. Экологический менеджмент. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 348 с.
- [2] Голицын А.Н. Промышленная экология и мониторинг: учебник / А.Н. Голицын. – М.: Издательство Оникс, 2007. – 336 с.
- [3] Аникин Н.И. Промышленная экология: принципы, подходы, технические решения. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 292 с.
- [4] Бобылев С.Н. Экономика природопользования: учебник / С.Н. Бобылев, А.Ш. Ходжаев. – М.: Инфра-М, 2008. – 501 с.
- [5] Аксенов Л.А., Родинова И. В. Мониторинг современного рынка как основа эффективного решения управленческих задач // «Экономический анализ». М. – 2011. – № 14. – с.36.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДОВ КАК ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОССИИ

Н.Ю. Сопилко, к.э.н.

А.А. Чехарина

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье авторами были изучены технологические уклады в контексте повышения конкурентоспособности России на мировом рынке. Определены сильные и слабые стороны российской экономики, а также приори-

тетные направления ее развития.

Ключевые слова: технологический уклад, конкурентоспособность, научно-технический прогресс, инновация, нанотехнология.

Концепцию технологических укладов, которая представляет собой продолжение теории длинных волн Н.Д.Кондратьева, предложил российский экономист С.Ю.Глазьев. Он определяет технологический уклад как целостное и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется воспроизводственный цикл, содержащий на начальном этапе добычу и получение первичных ресурсов, все стадии их переработки и завершающийся выпуском набора конечных продуктов, удовлетворяющих определенному типу общественного потребления [1].

Переход от одного технологического уклада к другому сопровождается структурным кризисом экономики, во время которого лидирующие страны могут столкнуться с обесцениванием капитала и квалификации занятых в отрасли устаревающего технологического уклада [2]. В то время как страны, заранее развивавшие отрасли, окажутся доминирующими в новом технологическом укладе и войдут в число преуспевающих стран.

В мировой экономике показатели конкурентоспособности стран определяются и составляются в виде рейтинга на Всемирном экономическом форуме. На форуме национальная конкурентоспособность определяется как возможность страны и ее институтов обеспечивать такие стабильные темпы экономического роста и развития, которые были бы устойчивы в среднесрочной перспективе. Представители форума отмечают, что индекс глобальной конкурентоспособности состоит из 113 переменных, которые объединены в 12 контрольных показателей, определяющих национальную конкурентоспособность стран мира: инновационный потенциал, уровень технологического развития, конкурентоспособность компаний, размер внутреннего рынка и др.

В рейтинге «Индекса глобальной конкурентоспособности 2014-2015» Россия занимает 53 место между Филиппинами и Болгарией, каждый год, поднимаясь примерно на несколько позиций, однако показатель остается низким, а продвижение слишком медленным[4]. При этом Россия имеет целый ряд преимуществ перед остальными странами: огромную территорию и емкий внутренний рынок, крупные минерально-сырьевые ресурсы, многочисленные трудовые ресурсы с высокой профессиональной подготовкой, развитый рынок энергоресурсов и др. Существует и ряд причин, препятствующих росту конкурентоспособности России на мировом рынке: значительный износ основных фондов страны(износ производственных фондов в России составляет около 70% от общего объема), технологическая отсталость от передовых стран и производство оборудования по устаревшим технологиям, а вследствие этого преобладание неконкурент-

тоспособных по современным стандартам технологий и производств, слабость инноваций, связанная сокращением государственных расходов на науку и НИОКР, низкий уровень производительности труда в промышленности и т.д.

На сегодняшний день мир находится на пороге формирования новой волны экономического роста шестого технологического уклада. Выбор пути развития экономики России стоит рассматривать в контексте трансформации технологических укладов. В развитых странах доминируют пятый и шестой технологические уклады, в то время как в России преобладает третий и четвертый. На этапе формирования пятого технологического уклада Россия не готова была вовремя в него войти, поэтому сегодня не стоит догонять лидирующие страны в рамках уходящего пятого уклада, а пора двигаться к шестому. Существует пример из истории, когда Южная Корея, не имея четвертого технологического уклада, ворвалась в пятый благодаря тому, что 43% своего ВВП тратила на инвестиции и инновации. Таким образом, используя уже имеющийся научный и технический потенциал Россия может встроиться в процесс глобального развития на стадии роста шестого экономического уклада. Для этого необходимо вовремя создать научно-технический задел для становления ключевого фактора и ядра шестого технологического уклада, его дальнейшее расширение позволит получение интеллектуальной ренты в глобальном масштабе.

Развитие технологических укладов неразрывно связано с научно-техническим прогрессом и инновационной политикой. Для вхождения России в шестой технологический уклад необходимо создание условий для возникновения связи между государственными целями и технологическими инновациями. Создание такой модели требует от государства реализации определенных мер, направленных на активизирование инвестиций в инновации, на внедрение инновационных продуктов и услуг во все сферы экономики и общественной жизни [3]. Расходы на инвестиции увеличиваются в зависимости от фазы развития технологического уклада. Таким образом для вхождения России в шестой технологический уклад на этапе его развития понадобится гораздо меньшее количество затрат, по сравнению с фазой роста и концом фазы роста.

Внедрение новых технологий в производство начинается в массовом порядке тогда, когда старые технологии перестают давать необходимую отдачу. Инновационные технологии не пользуются спросом у инвесторов до тех пор, пока старые продолжают давать хорошую прибыль. На отлаженном производстве в крупной корпорации нет стимула для введения новых технологий. Эти стимулы возникают в том случае, если производство по старой технологической траектории теряет экономический смысл и перестает давать прибыль. Примером скачка эффективности энергопо-

требления по мере роста нового технологического уклада служит распространение светодиодов.

Лидеры пятого технологического уклада демонстрируют высокую активность в научно-технической сфере для сохранения и укрепления нынешних ведущих позиций. Финансовый кризис и ухудшение состояния государственного бюджета, не мешает лидерам наращивать бюджетное финансирование исследований в сфере нанотехнологий, а также стимулировать частные инвестиции в эту сферу.

Для формирования и наращивания конкурентных преимуществ в условиях современного научно-технического прогресса России требуется активная поддерживающая и стимулирующая политика государства, включающая меры государственной структурной, промышленной, денежно-кредитной и налоговой политики.

Успех нашей страны вероятнее при опережении конкурентов еще на стадии диагностики назревающего прорыва. При этом Россия нуждается в политике опережающего развития, как путь выхода из структурного кризиса и переход на волну роста нового технологического уклада.

На сегодняшний день в России нет системной политики, направленной на становление шестого технологического уклада. Однако существует система целевых программ, в том числе программа нанотехнологий и созданы институты, например, РОСНАНО, реализующий государственную политику по развитию nanoиндустрии. Россия еще пока лидирует в мире по некоторым отраслям, входящим в ядро нового технологического уклада, таким как атомная энергетика, лазерная промышленность, ракетно-космический комплекс, молекулярная биология. В 2008 году правительством был принята политика долгосрочного развития страны до 2020 года. Это документ стратегического развития с правильно расставленными приоритетами, в том числе в сфере науки и технологий. Таким образом у России есть все шансы выйти на лидирующие позиции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глазьев С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического планирования. – М.: ВладДар, 1993. – 310 с.
- [2] Глазьев С.Ю. Конкурентные преимущества и слабости России в контексте глобальных тенденций экономического развития [Электронный ресурс]: <http://federalbook.ru/>.
- [3] Горешин В.П. Шестой технологический уклад: вызовы для России / Бизнес-Ключь. – №3-4. – 2010. – С.40-41.
- [4] «Индекс глобальной конкурентоспособности 2014-2015» [Электронный ресурс]: <http://www.weforum.org/reports/global-competitiveness-report-2014-2015#>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННОГО УГЛЯ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ – ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

П.И. Пилов¹, *д.т.н.*

К.П. Пилова², *к.э.н.*

1 – Кафедра обогащения полезных ископаемых

2 – Кафедра маркетинга

Национальный горный университет,
пр. К. Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49005

В статье выполнен анализ факторов, влияющих на качество каменных углей. Определена зависимость количества полезного тепла, выделяющегося при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения. Установлено, что минимальная стоимость единицы полезного тепла имеет место при сжигании максимального извлеченных из горной массы и очищенных от засоряющих примесей угольных и промежуточных фракций.

Ключевые слова: качество каменного угля, обогащение каменного угля, себестоимость производства электроэнергии.

Экономическая эффективность использования обогащенных углей в зависимости от степени повышения их качества многие годы является предметом исследований и дискуссий в энергетике. Неоднозначность ответов на этот актуальный вопрос в различные периоды была обусловлена, с одной стороны, изменением во времени соотношений услуг и цен на уголь, угольную продукцию, технологический передел, транспортные услуги. С другой стороны, дальнейшее развитие угольных энерготехнологий, ужесточение экологических требований и нормативов по выбросам в атмосферу вредных веществ приводили к новым сочетаниям экономических условий, которые выдвигали новые задачи исследований в данной области.

Качество добытого угля формируется под совокупным воздействием большого числа факторов, которые объединяют в группы: природных, экономических и технологических.

Каждый из приведенных факторов, за исключением природных, может быть отнесен к управляемым, в том числе ограниченно управляемым, и неуправляемым, в том числе конъюнктурным. Неуправляемые факторы не поддаются каким-либо управляющим воздействиям. К ним относится группа природных и экономических факторов. Ряд факторов можно отнести к конъюнктурным [2,3].

Они связаны с изменчивостью потребности в данном виде угольной продукции, с ее количеством на рынке, а также с колебанием цен и дру-

гими экономическими изменениями, проявляющимися случайно и независимо от производителя и потребителя.

Природные свойства углей заданы геолого-генетическими факторами, определившими их петрографические и химико-технологические характеристики, а также физические свойства. Добытый уголь обладает рядом единичных свойств качества, среди которых с позиции потребителя можно выделить полезные, вредные и нейтральные [2].

Вредные свойства угля усложняют технологические процессы с его использованием, удорожают стоимость продукта производства (электроэнергии, чугуна и пр.) и нередко приводят к ухудшению его качества. Зольность угля существенно снижает экономические показатели работы тепловых электростанций, повышает расход кокса при доменной плавке, примеси серы, фосфора и мышьяка вместе с коксом попадают в чугун и сталь, ухудшая их качество.

Одной из существенных технических и экологических проблем использования каменных углей является повышенное содержание серы. Она содержится, в основном, в виде вкрапленных зерен пирита (FeS_2) размером от нескольких миллиметров до микрометров. Их распределение по фракциям плотности для большинства углей является почти равномерным. При этом может быть незначительное повышение содержания в породных фракциях и понижение в угольных фракциях, и, наоборот, с повышением содержания в угольных фракциях и понижение в породных. Наибольшая концентрация пирита почти всегда наблюдается в промежуточных фракциях плотностью 1500-1800 кг/м³. В среднем содержание серы в украинских углях составляет 3% с колебанием от 1 до 5%. Но выход промежуточных фракций, как правило, незначителен и составляет порядка нескольких процентов, поэтому количество серы в этих фракциях мало.

Одним из направлений совершенствования угольных энерготехнологий является использования топлива с качеством, при котором обеспечивается его максимальная энергетическая эффективность для каждого из используемых способов сжигания.

Повышение качества добытых углей осуществляется путем их механического обогащения, при котором от угля отделяется высокозольная порода или ее часть. При этом используются в основном гравитационные методы сепарации, разделительным признаком для которых является плотность фракций, составляющих рядовой уголь. Содержание серы в очищенном угле (концентрате) в большинстве случаев остается такой же, как и в рядовом угле, либо незначительно снижается, либо повышается в зависимости от распределения серы по фракциям. Таким образом, можно утверждать, что при гравитационном обогащении каменных углей, особенно крупных классов, десульфурации

концентратов не происходит из-за нераскрытых зерен пирита. Их раскрытие осуществляется при измельчении углей, однако это существенно усложняет и удорожает технологию обогащения и делает ее экономически несостоятельной.

С другой стороны, снижение выбросов оксида серы на тепловых электростанциях возможно за счет снижения удельного расхода высокосернистого топлива.

Интегральной характеристикой качества каменных углей как топлива и главным их потребительским свойством является теплотворная способность.

Она, как известно, определяется теплотворной способностью содержащейся в них горючей массы Q^g , их зольностью A^d , а также влажностью W и в общем виде может быть описано уравнением:

$$Q_c = Q^g(1 - kA^d - W) - aA^d - cW,$$

где k – поправочный коэффициент на термическую диссоциацию минералов золы; a – коэффициент, зависящий от теплоемкости компонентов золы и количества тепла, необходимого на их термическую диссоциацию; c – коэффициент, учитывающий расход тепла на нагрев и испарение воды.

Исходя из того, что высшая теплота сгорания угля Q^g , является теплоэнергетической характеристикой ископаемых углей, в практике энергетических расчетов используется следующая приближенная формула для определения низшей теплоты сгорания рабочего топлива (или низшей теплоты сгорания на рабочее состояние топлива) путем пересчета высшей теплоты сгорания с учетом количества балластных примесей:

$$Q_p^n = Q^g \frac{100 - A^d - W}{100} - 0,025 W, \text{ МДж/кг}$$

где Q^g – высшая удельная теплота сгорания угля; A^d – фактическая зольность угля на воздушно-сухое состояние, %; W – влажность угля, %.

При сжигании каменных углей доля полезно используемого тепла характеризуется коэффициентом полезного действия (к.п.д.) процессов и устройств для превращения энергетического потенциала углей в другие виды энергии. В зависимости от того, что является конечным продуктом теплоэнергетики, технологический цикл производства может включать несколько последовательных операций: сжигание в топке, производство пара в котле с использованием выделившегося при сжигании тепла и превращение энергии пара в электрическую энергию в генераторе.

Коэффициент полезного действия топки зависит от потерь тепла с горячими шлаками и золой, а также термической диссоциации некоторых минералов, содержащихся в угольной породе, т.е.:

$$\eta_k = \frac{Q_n}{Q_0} = \frac{Q_0 - \Delta Q}{Q_0}.$$

Поскольку потери тепла при сжигании ΔQ пропорциональны количеству породы в угле, характеризующемуся зольностью A^d , то зависимость к.п.д. от зольности должна иметь линейный характер:

$$\eta_k = a - bA^d,$$

что подтверждается практикой работы тепловых электростанций.

Влияние зольности на экономическую эффективность угольных электростанций проявляется еще и в повышении расходов на топливоприготовление в связи с ухудшением размолоспособности углей из-за большей доли в них породы [1,4,5].

В случае обогащения угля количество топлива снижается пропорционально выходу концентрата γ_k , определение которого осуществляется по известным методикам с использованием гранулометрических и фракционных составов рядового угля [11].

Затраты ТЭС на топливо, получаемого из одной тонны угля составят:

$$C_m = C_y + C_{об} + \gamma_k \sum_{i=1}^n C_i.$$

где $C_y, C_{об}, C_i$ - соответственно, затраты на добычу угля, его обогащение, на транспорт и операции по обработке топлива на электростанциях (транспорт, складирование, пылеприготовление и др.); γ_k - выход концентрата.

Количество тепла, получаемого из этого топлива и превращаемого в электроэнергию, равно произведению массы, пропорциональной выходу концентрата, на теплоту сгорания рабочего топлива и коэффициента полезного действия ТЭС, т.е.

$$Q_n = \gamma_k Q_{pk}^H \eta_e.$$

Изменение топливной составляющей в себестоимости производства электроэнергии в зависимости от качества и количества обогащенного угля можно оценить по стоимости топлива в производстве полезного тепла:

$$C_Q = \frac{C_m}{Q} = \frac{C_y + C_{об} + \gamma_k \sum_{i=1}^n C_i}{\gamma_k [Q^g (100 - A_k - W) / 100 - 0,025W] \eta_e}$$

Минимизация стоимости топливной компоненты или себестоимости производства пара при сложившемся уровне цен и услуг и неизменном техническом уровне ТЭС может быть осуществлена за счет вариации соотношения зольности и выхода угольных концентратов, производимых на обогатительных фабриках при использовании имеющихся технологических возможностей углеобогащения.

В результате вычислительного эксперимента с использованием фракционных составов рядовых углей ранее нами установлена экстремальная зависимость количества полезного тепла, выделяющегося при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения [7-10,13].

Наличие экстремума доказывает повышение количества полезного тепла с увеличением степени обогащения угля за счет повышения теплотворной способности угольного концентрата и роста к.п.д. его сжигания. Установлено, что экстремум наблюдается при зольности концентрата, равной зольности беспородной массы угля (угольные и промежуточные фракции).

В качестве примера приведем результаты расчета для каменного угля марки Г, добываемого шахтой им. Сташкова в Западном Донбассе, представленные в табл.1 и рис.1.

Таблица 1
Результаты определения теплоэнергетических показателей обогащенного угля марки Г, добываемого шахтой им. Сташкова

Концентрат			Q_p^u , МДж/ кг	η	Расход топлива на 1 кВт·ч, г		$Q_{пв}$, МД ж/кг	s , г/ кВт· ч	Снижение выбросов серы, %	
A , %	γ , %	S , %			q	q_o			Δ_1	Δ_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	58,34	1,64	27,17	0,3640	364	623,94	5,77	5,97	52,09	30,84
10	60,15	1,67	26,50	0,3600	377	627,33	5,74	6,30	49,42	26,99
12	61,9	1,7	25,83	0,3560	391	632,41	5,69	6,65	46,59	22,90
14	63,67	1,73	25,16	0,3520	406	638,34	5,64	7,03	43,57	18,54
16	65,58	1,75	24,49	0,3480	422	643,99	5,59	7,39	40,68	14,38
18	67,45	1,72	23,83	0,3440	439	651,19	5,53	7,55	39,37	12,48
20	69,51	1,73	23,16	0,3400	457	657,79	5,47	7,91	36,51	8,36
22	71,52	1,69	22,49	0,3360	476	666,16	5,40	8,05	35,38	6,72

24	73,75	1,68	21,82	0,3320	497	673,84	5,34	8,35	32,99	3,28
26	76,18	1,71	21,15	0,3280	519	681,18	5,28	8,87	28,78	
28	80,05	1,71	20,48	0,3240	542	677,68	5,31	9,28	25,55	
30	83,06	1,71	19,81	0,3200	568	683,58	5,27	9,71	22,07	
32	86,45	1,71	19,14	0,3160	595	688,34	5,23	10,18	18,33	
34	89,84	1,71	18,48	0,3120	625	695,17	5,18	10,68	14,29	
36	93,23	1,71	17,81	0,3080	656	704,10	5,11	11,22	9,91	
38	96,61	1,71	17,14	0,3040	691	715,21	5,03	11,82	5,17	
40	100	1,71	16,47	0,3000	729	728,63	4,94	12,46	0,00	

Обозначения столбцов: 1,2,3 – соответственно, зольность концентрата, его выход и содержание серы; 4 – низшая теплота сгорания рабочего топлива; 5 – к.п.д. электростанции; 6,7 –расход на 1 кВт·ч, соответственно, концентрата и рядового угля; 8 – количество полезного тепла, выделяющегося при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля; 9 – количество серы, выделяющейся при выработке 1 кВт·ч электроэнергии; 10,11 - снижение выбросов серы, соответственно, по отношению к рядовому углю и концентрату с зольностью 25%.

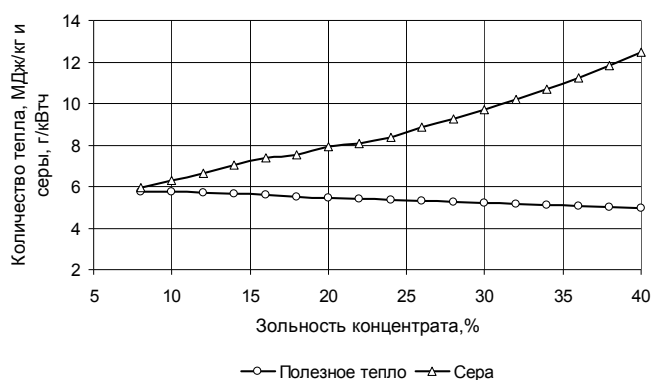


Рис. 1. Количество тепла, выделяющегося при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения и количество серы, выделяющейся при выработке 1 кВт·ч электроэнергии

Из данных табл.1 и рис.1 следует, что с повышением степени обогащения угля, что приводит к снижению зольности концентрата и его выхода, количество полезного тепла не уменьшается, а даже несколько воз-

растает. При этом интенсивность роста связана с чувствительностью к.п.д. котлоагрегата к зольности топлива.

Таким образом, объем выработки электроэнергии сохраняется, а расход топлива снижается (столбец 6 табл.1).

Поскольку содержание серы в зависимости от степени обогащения топлива практически не меняется (колонка 3), а его расход на выработку 1 кВт·ч электроэнергии снижается при уменьшении зольности угольного концентрата, то количество серы, поступающей на сжигание, сокращается (колонка 9 табл.1, рис.3) пропорционально выходу концентрата. При этом снижение количества серы, поступающей в топку, приводит к сокращению выбросов оксида серы с дымовыми газами в 2 раза по сравнению со сжиганием необогащенного угля с зольностью 40% и на 30% по сравнению со сжиганием угля с зольностью 25% (колонки 10,11 табл.1). Отметим, что настоящее время в твердотопливной электроэнергетике Украины используется в основном уголь с зольностью 25%.

В результате исследования рядовых углей различных марок и различного качества [7-10,13], обусловленного как природными, так и горно-технологическими факторами, установлено, что минимальная стоимость единицы полезного тепла имеет место при сжигании максимального извлеченных из горной массы и очищенных от засоряющих примесей угольных и промежуточных фракций. Величина этого минимума связана также с применяемыми технологиями углеобогащения и сжигания. Дополнительное извлечение угольных фракций при обогащении, связанное с применением новых технологий приводит к повышению эффективности использования энергетического потенциала угля, однако оно должно быть экономически оправдано. Выход концентратов должен быть максимально возможным для углей данного фракционного состава в условиях применяемых технологий обогащения. Такой подход обеспечит также существенное снижение выбросов оксида серы в атмосферу, сокращение объема дымовых газов, направляемых на десульфурацию, расходов на их очистку повысить экологическую безопасность твердотопливной электроэнергетики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горшков А.С. Техничко-экономические показатели тепловых электростанций. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984.- 240 с., ил.
- [2] Еремин И.В., Броневец Т.М. Марочный состав улей и их рациональное использование: Справочник.- М.: Недра, 1994.- 254 с.: ил.
- [3] Ломоносов Г.Г. Горная квалиметрия. М.: Издательство МГГУ, 2000.-201с.
- [4] Марченко М.Г., Филиппов В.М. Стандартизация и нормирование качества углей. М., Недра, 1977. 247 с.

- [5] Неженцев В.В., Дубовик В.С. Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в промышленности. – К.: Техника, 1990. –128 с.
- [6] Пилов П.И., Шаров А.И., Пилова Е.П. Технологическая модель обоснования качества угля для энергетики// Горный информационно-аналитический бюллетень 2001.- №3.-С.161-165.
- [7] Пилов П.И., Пилова Е.П. Технологическое обоснование качества каменных углей для энергетики//8-й международный семинар «Уголь в металлургии и энергетике». – Ялта. – 2002. – с.40-52
- [8] Пилова Е.П. Улучшение экономических показателей производства угольных концентратов для энергетики за счет повышения их качества/ Ин-т экономики промышленности НАН Украины. Экономика промышленности (сб. науч. тр.). Донецк- 2002. – С.373-281.
- [9] Пілова К.П. Економічна ефективність та раціональний ступень збагачення кам'яного вугілля для енергетики// СХІД №2 (52). – лютий 2003. – с.13-17
- [10] Пилова Е.П. Методология экономического обоснования качества каменных углей на основе повышения степени использования их энергетического потенциала// Академічний огляд. - №1. – 2003. – с. 53-61
- [11] Справочник по обогащению углей. Под ред. И.С. Благова, А.М. Коткин, Л.С. Зарубина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984, 614 с.
- [12] Pilov P.I., Pivnyak G.G., Bondarenko V.I. Tratchuk A.M. The development conception of coal technologies in Ukraine//United Nations commission for Europe. Meeting of experts on clean coal technologies. - Szczyrk (Poland), 1995. - p. 57-63.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ КОМПАНИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Г.М. Кутльева, к.т.н.

А.С. Смирнова

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье авторами были изучены стратегии развития предприятия строительной отрасли. Определены сильные и слабые стороны миссии строительных организаций, а также приоритетные направления ее развития.

Ключевые слова: стратегия, конкурентоспособность, строительные предприятия, техническая реструктуризация.

В современных условиях четко выработанная стратегия позволяет компаниям быть адаптируемыми к изменениям внешней среды, перспективными в развитии и открытыми к новым возможностям, нововведениям рынка. Поэтому прежде чем разрабатывать новую методику производ-

ства строительно-монтажных работ, услуг, необходимо изменить тактику подходов к организации и управления предприятием, с тем, чтобы техническая реструктуризация обеспечила предприятия эффективным гибким производством и нашла свое отражение в бухгалтерской отчетности в виде достижения максимальной прибыли. В этом и состоит основная идея стратегии развития.

Сущностью стратегии развития предприятия является благополучная реализация долгосрочной стратегии в конкурентных условиях непрерывно меняющейся внешней среды, а также разработка механизмов превращения выбранной стратегии в текущие проекты и производственно-технические планы компании. В следствии чего, можно добавить, что стратегия представляет собой набор планов и задач, благодаря которым компания достигает поставленных целей.

Во всех существующих отраслях выработка стратегии развития приобрела колоссальное значение. Каждая отрасль по-своему определяет важность этого инструмента для себя. Проблема формулирования стратегии развития существует практически в каждой компании: строительной, металлургической, торговой и т.д. Существуют и разные определения стратегии:

Альфред Чандлер, первый человек в мире, давший определение термину «стратегия». Он определил, что стратегией является определение основных долгосрочных целей и задач предприятия и утверждение курса действий, распределение ресурсов, необходимых для достижения этих целей. [1]

Американский математик и экономист Игорь Ансофф, родоначальник стратегического менеджмента понимает под стратегией набор правил для принятия решений, которыми организация руководствуется в своей деятельности. [2]

Генри Минцберг дает наиболее общее определение термину «стратегия». Стратегия по Г. Минцбергу – это единство «5P»: план (plan), образец, шаблон (pattern), позиционирование (position), перспектива (perspective) и отвлекающий маневр (ploy). [3]

Основываясь на этих трех определениях, можно дать следующее определение термину «стратегия»:

Стратегия – это общий комплексный план, состоящий из целей, задач и миссии компании, позволяющий предвидеть будущее состояние организации в данный момент времени. Точно выработанная стратегия позволяет компании быть приспособляемой к изменениям внешней среды, перспективной в развитии и открытой к новым возможностям, нововведениям рынка.

Самым важным в процессе выбора стратегии является умение определять приоритеты развития компании, и в последствии их ранжировать.

Эти приоритеты будут являться главными целями всех сотрудников компании.

Существует множество трансформированных стратегий, которые используют компании, но все они строятся на базовых стратегиях, которые по-своему уникальны и эффективны при определенных обстоятельствах и условиях внешней и внутренней среды. Для определения базы в модифицированных стратегиях компаний специалисты используют чаще всего основную специфику отрасли, в данной работе мы рассматривали строительную отрасль.

Рынок строительства всегда считался показателем благосостояния населения, развития экономики. Предполагается, что если развивается строительная отрасль, то экономика находится на подъеме, а общество. На сегодняшний день нельзя говорить о строительном буме в России вообще. Только, пожалуй, в одном регионе Федерации наблюдается динамический рост объемов построенного жилья. Это Москва и Московская область отчасти.

Изучив опыт формирования стратегий развития строительных компаний, можно сделать вывод, что российские компании в основном вообще не имеют стратегий, тем более модифицированных базовых. Каждая компания вырабатывает стратегию, основываясь на собственном опыте или опыте других компаний, в этом и состоит главная ошибка всех компаний строительной отрасли. Ведь собственный опыт не всегда бывает положительным и успешным, а опыт других не может учитывать всю специфику данной компании. Также важно упомянуть о том, что, формируя стратегию развития важно учитывать все тенденции развития компаний. Но анализ показал, что на данный момент компаний исходят больше из собственных представлений о достижении целей. Чтобы грамотно отслеживать тенденцию развития компании необходимо использовать следующие факторы развития организаций:

- Фактор экономической эффективности;
- Фактор развития рынков и структуры;
- Выручку;
- Сумму привлеченных средств;
- Уровень рентабельности;
- Производительность труда;
- Среднесписочную численность;
- Количество конкурентов.

Согласно анализу строительной отрасли, к 2020 году произойдет замедление роста строительного рынка до 3,5% в год, а основная доля рынка, примерно до 70% будет приходиться на жилищное строительство. Жилищное строительство представляет собой крупнейшее направление в

строительной отрасли, вовлекающее значительные финансовые и трудовые ресурсы. Прогнозируется, что основными локомотивами роста рынка будут являться наиболее инвестиционно-привлекательные регионы России - Ростовская область и Краснодарский край. К слабым сторонам отрасли можно отнести в основном рыночные факторы, такие как: неплатежеспособность заказчиков, конкуренция со стороны других компаний и недостаточное количество заключенных договоров, а также низкая квалификация работников и неэффективное управление.

В связи с введением экономических санкций Евросоюза и США, в 2016 году ситуация на строительном рынке России будет стабильной, с вероятной возможностью снижения цен, особенно в строящихся объектах, это влияние будет косвенным и приведет к сокращению ликвидности и роста стоимости заимствований. Санкции будут влиять на уменьшение возможностей кредитования за рубежом.

В целом строительная отрасль развита хорошо и использует материалы и оборудование отечественного производства, но все же существует малый процент зависимости от импортных составляющих и в ближайшее время не сможет заместить импорт в строительстве.

Экономические санкции могут оказать и положительное влияние на рынок, так как дадут толчок к развитию тех отраслей промышленности, которые могут производить материалы и оборудование, которое заменит импорт на российском строительном рынке.

В связи с этим, необходимо сформулировать миссию строительной отрасли, которая детализирует стратегическое видение, представляя идеологию, замысел, убеждения и суть ее создания. Миссия должна быть четкой, ясной и понятной, она должна сплотить людей на достижение целей.

Для строительной отрасли миссия заключается в ускорении роста строительного объединения России, которое обладало бы перспективным потенциалом и обеспечило бы рост уровня благосостояния граждан, а также увеличение конкурентоспособность строительного рынка, качественных показателей, на основе которых и произошло бы укрепление внешней и внутренней среды государства.

На основании миссии можно выделить пять приоритетных направлений деятельности отрасли:

- совершенствование системы технического регулирования в строительстве;
- совершенствование систем подготовки кадров для строительной отрасли и подтверждение квалификации специалистов;
- содействие улучшению инвестиционного климата;
- внедрение информационно-коммуникационных технологий;

- поддержка малого бизнеса.

Главной стратегией развития компаний строительной отрасли должно являться формирование экономики строительной отрасли, которая обладала бы перспективным потенциалом, способным обеспечить устойчивый рост уровня благосостояния населения и стандартов проживания, а также модернизацию производственной части как на уровне компании, так и на уровне страны в целом. Стратегия должна быть ориентирована на укрепление конкурентоспособности компаний и в этой связи быть направлена на рост качественных показателей и структурных характеристик отрасли.

Основными задачами выполнения стратегии должны быть:

Реализация федеральных и региональных программ и инвестиций в области градостроительства и удовлетворение спроса населения на жилье, повышение уровня обеспеченности современными объектами гражданского назначения;

Обновление потенциала мощностей и материально-технической инфраструктуры строительного комплекса на основе инновационных технологий и конструктивных решений для нового строительства, реконструкции зданий и сооружений.

Возможной стратегией развития строительного бизнеса будет являться фокусирование внимания на комплексное освоение территорий, а не на точечную застройку в центре крупных городов, как это происходит сейчас. Так же стоит сделать упор на применение новых инновационных материалов и технологий. Что касается организации бизнеса, то здесь рекомендуется провести работу по четкой организации процесса труда, распределению функционала, выстраиванию грамотной мотивационной политики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chandler A. Strategy and Structure, Chapter in the History of the American Industrial Enterprise. - М.: Cambridge, MIT Press, 2012
- [2] Ансофф И. Стратегический менеджмент. – М.: Букинистическое издание, 2011. - 68
- [3] Минцберг Г., Альстранд Б., Лампель Ж. Стратегическое сафари. Экскурсия по джунглям стратегического менеджмента. – М.: Альпина Паблицер, 2013. – 115-128.

ОСОБЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

М.Л. Ершикова

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Финансовый кризис в России, начавшийся в 2014 году привел к ухудшению экономической обстановки в России. Причиной, как всем известно, является стремительное снижение цен на энергоресурсы, продажа которых составляет значительную часть в доходах бюджета России, а также введение экономических санкций в отношении России в связи с событиями в Крыму и на востоке Украины.

Эти факторы вызвали значительное снижение курса рубля относительно иностранных валют, рост инфляции и снижение роста реальных доходов населения. Часть мировых компаний, ведущих бизнес в России, сообщила о выводе своего капитала из России.

Эти факторы отразились и на каждом российском предприятии в отдельности, а именно: сократились объемы продаж, увеличились кредиторские задолженности, начались кадровые сокращения, сократились зарплаты сотрудников, многие предприятия стали закрываться.

Известно, что для вывода компании из кризиса можно использовать ряд инструментов: снижение затрат, стимулирование продаж, оптимизацию денежных потоков, сокращение дебиторской задолженности, реструктуризацию кредиторской задолженности.

Первой задачей руководства предприятия является выявление «узких» мест в деятельности предприятия, на которых кризис отразится в первую очередь. Для этого следует вести постоянно управленческий учет на предприятии. Именно анализ данных управленческого учета даст возможность предприятию определить те компоненты, которые действительно имеют приоритетное значение для предприятия, например, запасы, оборудование, квалифицированный персонал, а также собрать информацию по каждому из них. При этом, если в бизнесе участвует не одна компания, а несколько, то следует иметь в виду, что управленческий учет необходимо вести в целом по группе компаний, а не по каждой в отдельности.

Основные инструменты управления кризисной ситуацией следующие:

- анализ затрат, сокращение несущественных или не требуемых в производстве затрат и жесткий контроль текущих затрат;
- контроль дебиторской задолженности;
- контроль кредиторской задолженности;

- стимулирование продаж;
- разработка систем мотивации персонала,
- оптимизация денежных потоков, играющая в условиях экономического кризиса особую значимость.

Рассмотрим каждый из вышеназванных инструментов подробно.

Сокращение затрат предприятия. Для снижения издержек в условиях кризиса необходимо первично провести анализ каждой из статей затрат, сократить малозначительные или не требуемые затраты, провести нормирование тех статей затрат, которые необходимы в производственной деятельности предприятия, осуществлять жесткий контроль проводимых расходов, провести работу с персоналом и выбрать способы мотивации персонала на снижение затрат. Например, предоставить доступ в интернет только тем сотрудникам, которым это необходимо для исполнения своей работы, осуществлять контроль пользования Интернет-ресурсом предприятия. Также ввести контроль за расходованием подотчетных сумм, за использованием телефонов предприятия в личных целях.

В производстве также есть смысл осуществлять жесткий контроль за технологическим процессом производства продукции, обратить внимание на объем бракованной продукции, выявить причины брака и т.п.

Многие предприятия начинают процесс экономии затрат с сокращения персонала, считая что высвобожденная заработная плата и страховые взносы с нее помогут предприятию выйти из кризиса. НО не следует забывать, что персонал почти во всех предприятиях набран таким образом, что каждый сотрудник работает практически без замены. Увольнение части сотрудников приведет к возложению дополнительных обязанностей на оставшихся сотрудников. Это может привести к увольнению ценных, квалифицированных кадров. На мой взгляд вопрос сокращения персонала не следует решать в первую очередь, его надо использовать как крайнюю меру. Ведь набрать квалифицированный персонал вновь или просто подобрать сотрудника на место ушедшего трудно и занимает немало времени и сил.

Контроль дебиторской задолженности предполагает работу с каждой дебиторской задолженностью в отдельности, выявление сомнительных долгов, немедленного привлечения юристов для работы с сомнительным долгом.

В случае, если дебитор не в состоянии расплатиться денежными средствами, можно договариваться об оплате бартером.

Хотелось бы обратить внимание руководства на тот факт, что во многих компаниях результатом сделки считают факт отгрузки товаров (оказания работ, выполнения услуг), а не факт оплаты отгруженной продукции (работ, услуг). Это серьезная ошибка, следует мотивировать менед-

жера не по факту отгрузки продукции, а по факту полного завершения сделки, то есть получения дебиторской задолженности.

Контроль кредиторской задолженности включает в себя своевременную оплату каждой задолженности, направляя на это полученные денежные средства от погашения дебиторских задолженностей. Предприятию можно рекомендовать обратить внимание на решение вопроса реструктуризации кредиторской задолженности, то есть получения от кредиторов различных уступок, направленных на сокращение размера задолженности.

Стимулирование продаж предполагает предоставление скидки за объем (при покупке крупной партии товара), бонусные скидки (скидки предоставляются постоянным покупателям, если они приобретают обусловленное количество товара за определенный период), купоны, продажу товаров в кредит в различных формах (рассрочка платежа, отсутствие первоначального взноса), бесплатную передачу товара «на пробу», резкое снижение цен (перед началом нового сезона), замену купленного товара при обнаружении неисправности.

Решение руководства предприятия о резком увеличении цены продажи продукции (работ, услуг) может привести не к увеличению дохода, не к притоку денежных средств, а к резкому сокращению объема продаж, оттоку постоянных покупателей.

Разработка систем мотивации персонала. Наиболее эффективной системой мотивации сотрудников, является «мотивация на результат», то есть предоставление дополнительных процентов менеджерам по продажам по факту исполнения сделки.

Оптимизация денежных потоков. Предприятию необходимо рассчитать оптимальный размер денежных средств, поскольку их недостаток может оказать серьезное негативное влияние на деятельность предприятия. Результатом может стать неплатежеспособность, снижение ликвидности, убыточность и даже прекращение деятельности организации в качестве хозяйствующего субъекта рынка. Избыток денежных средств также может иметь отрицательные последствия, так как не обеспечивает дохода, происходит потеря реальной стоимости денег из-за инфляционных процессов.

Ежедневное планирование поступлений денежных средств и использование их на погашение запланированных кредиторских задолженностей должно помочь предприятию правильно распределять денежные потоки.

Следует также провести инвентаризацию основных средств и складских запасов, выявить их не востребуемые в производстве, заняться их реализацией. Это даст дополнительный приток денежных средств на предприятие.

Практика работы в период предыдущих кризисов в стране показывает, что введение жесткой политики контроля по всем направлениям деятельности предприятия, принятия взвешенных управленческих решений, не даст предприятию встать на путь банкротства, а позволит сохранить свои позиции на рынке, а также сохранить квалифицированные кадры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Згонник Л.В., Антикризисное управление, Дашков и К, 2014
- [2] Романова М.Н. «Бизнес-планирование», Инфра-М, 2014
- [3] Журнал "Вопросы новой экономики", ВСЭИ, 2014 г
- [4] Журнал «Финансовый директор» (№№ 9-12, 2014 г).
- [5] Журнал «Эффективное антикризисное управление» (№№ 1-12, 2014)

НЕГОСУДАРСТВЕННОЕ ПЕНСИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОССИИ

А.Б. Богословская, *к.ф.-м.н.*

Ю.Н. Арёфьева, *аспирант*

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Работа посвящена рассмотрению Негосударственного Пенсионного Фонда «ПРОМАГРОФОНД». Показано его место в пенсионном обеспечении России. Описана мотивация сотрудников фонда.

Ключевые слова: фонд, мотивация, инвестиции, сотрудники, клиенты.

Пенсионный фонд Российской Федерации (ПФР) - один из наиболее значимых социальных институтов страны. Это крупнейшая федеральная система оказания государственных услуг в области социального обеспечения в России.

Негосударственные пенсионные фонды (НПФ) представляют собой форму некоммерческой организации социального обеспечения. Основные виды их деятельности - осуществление добровольного дополнительного пенсионного обеспечения, обязательного пенсионного и профессионального пенсионного страхования населения.

Первые НПФ появились в связи с изданием Указа Президента Российской Федерации от 16 сентября 1992г. №1077 «О негосударственных пенсионных фондах». Самыми крупными из них являются: НПФ Газфонд, НПФ Благосостояние, НПФ Транснефть, НПФ Электроэнергетики, НПФ Промагрофонд, НПФ Нефтегарант, НПФ СберФонд РЕСО, НПФ Лукойл-Гарант, НПФ Норильский Никель, , НПФ Сбербанк, НПФ «Сургутнефтегаз», Европейский пенсионный фонд, Национальный НПФ, НПФ «Оборонно-промышленный фонд» и другие.

В работе был рассмотрен один из Негосударственных пенсионных фондов – НПФ «Промагрофонд» - один из самых крупных и надежных пенсионных фондов страны. Этот фонд основан в 1994 году. За годы работы успешно пережил все кризисы, ни разу не нарушив своих обязательств перед клиентами.

Негосударственный пенсионный фонд также как и Пенсионный фонд аккумулирует денежные средства пенсионных накоплений, занимается их инвестированием, учетом, назначением и выплатой накопительной части трудовой пенсии [3].

Все поступления и отчисления Негосударственного пенсионного фонда «Промагрофонд» жестко регулирует государство, кроме того, у фонда существуют свои контролирующие органы, которые следят за всеми операциями, и один раз в год проводят независимую аудиторскую проверку его работы. При этом существуют контролирующие компании, такие как: Общество с ограниченной ответственностью «Управляющая компания «АГАНА»; Закрытое акционерное общество «Лидер» (Компания по управлению активами пенсионного фонда); Общество с ограниченной ответственностью «Управляющая компания «КапиталЪ»; Общество с ограниченной ответственностью "Управляющая компания "Перспектива Финанс». Система контроля деятельности НПФ «Промагрофонд» включает все контролирующие сферы. Прежде всего – это государственный контроль. В системе государственного контроля ключевая роль отведена уполномоченному федеральному органу, функции которого в настоящее время закреплены за Службой Банка России по финансовым рынкам, которая лицензирует деятельность НПФ, регистрирует Правила фонда, осуществляет общий государственный надзор за деятельностью всех негосударственных пенсионных фондов и компаний, управляющих их активами. К компетенции Службы Банка России по финансовым рынкам относится контроль за соблюдением нормативно-законодательных требований по всем параметрам деятельности фонда, начиная от делопроизводства и заканчивая профессиональной подготовкой специалистов НПФ.

Внешний контроль проводится в соответствии с Законом РФ «О негосударственных пенсионных фондах», в котором установлена обязанность каждого фонда ежегодно проходить проверку у независимого аудитора и независимого актуария. Заключение независимого аудитора и актуария являются неотъемлемой частью годового отчета фонда в ФСФР.

Внутренний контроль, демонстрирует, что итоги работы фонда за год проверяет ревизионная комиссия, рассматривает и утверждает совет фонда. Члены ревизионной комиссии не являются сотрудниками НПФ. Итоги работы НПФ выносятся на обсуждение попечительского совета фонда, состоящего из представителей вкладчиков и участников. В соот-

ветствии с требованиями законодательства в НПФ создана служба внутреннего контроля, которая подчиняется непосредственно совету фонда. В функции службы внутреннего контроля входит мониторинг всех основных финансовых, юридических и технологических аспектов деятельности фонда.

В системе контроля деятельности НПФ «Промагрофонд» присутствует также общественный контроль. Все большую роль в системе надежности НПФ играют общественные объединения фондов – Национальная ассоциация НПФ, в рамках которых вырабатываются правила и стандарты деятельности НПФ, а также осуществляется контроль за соблюдением членами этих организаций законодательства и указанных стандартов.

До 2014 года работодатель в обязательном порядке платил за каждого своего работника, который моложе 1966 года рождения накопительную часть - 6% от его зарплаты. Эти денежные средства сначала направляются в Пенсионный фонд России, а затем, Пенсионный фонд, ежеквартально делает отчисления Негосударственным пенсионным фондам, и в том числе в НПФ «Промагрофонд», тех работников, которые зарегистрированы в «Промагрофонд». А Негосударственные пенсионные фонды инвестируют эти денежные средства, получая доход. Доход от инвестирования отражается на пенсионных счетах накопительной части трудовой пенсии. При достижении застрахованным лицом пенсионного возраста фонды обеспечивают выплату ему пожизненной пенсии, рассчитанной исходя из размера пенсионных накоплений, отраженных на пенсионном счете накопительной части трудовой пенсии плюс добровольные взносы, если такие были сделаны.

С 2014 года в пенсионном законодательстве произошли изменения. Новая пенсионная формула для страховой пенсии вступит в силу с 1 января 2015 года. Расчет накопительной части тоже измениться и будет формироваться также с 2015 года, а пока же в процессе накопления сделан годовой "тайм-аут", в течение которого все НПФ должны пройти проверку ЦБ и акционироваться.

Изменения, которые касаются формирования накопительных пенсий, инвестирования накоплений, их сохранности и порядка выплат. Главное изменение состоит в том, что поменяется порядок взимания пенсионных взносов - той их части, которая идет на накопление. По новым правилам, работник имеет право выбора: он сам дает распоряжение Пенсионному фонду и либо обнуляет накопительный тариф (в этом случае все взносы в полном объеме идут на формирование страховой пенсии), либо остается в накопительной системе, и тогда на накопительный счет гражданина по-прежнему будет перечисляться 6%, а взносы в страховую часть уменьшатся на эту же долю. В течение 2014 года все взносы будут направляться в страховую часть пенсионной системы.

Деятельность всех негосударственных пенсионных фондов, несомненно, должна стать конкурентно-способной и привлекательной для своих клиентов.

Для клиентов Негосударственного пенсионного фонда «Промагрофонд» запущен в работу обновленный интернет-сервис «Личный пенсионный кабинет» (ЛПК). В ЛПК сделаны обновления и дополнены новыми сервисами разделы: «Информация», «Индивидуальные данные», «ОПС», «Вопрос/запрос Фонду». Для этого необходимо пройти регистрации в ЛПК и там же получить пароль-доступ, без личного обращения в Фонд. ЛПК могут использовать, как застрахованные лица, так и те, кто только заключил с Фондом договор об ОПС, и чьи средства в НПФ еще не поступали.

Деятельность НПФ «Промагрофонд» направлена на удовлетворение интересов клиентов, как уже существующих, так и потенциальных. Фонд занимается инвестированием денежных средств в разные сферы деятельности действующих организаций.

Инвестиционная стратегия НПФ «Промагрофонд» включает инвестирование активов в:

- Государственные ценные бумаги Российской Федерации – до 100%
- Государственные ценные бумаги субъектов Российской Федерации – до 40%
- Муниципальные облигации – до 40%
- Облигации российских хозяйственных обществ – до 80%
- Акции предприятий стратегических отраслей – до 40%
- Ипотечные ценные бумаги, выпускаемые в соответствии с законодательством РФ – до 20%
- Денежные средства (в том числе в иностранной валюте) и депозиты в банках – до 80%.

Первостепенной задачей Негосударственного пенсионного фонда «Промагрофонд» является увеличение накопительной части пенсии своих клиентов. Структура «Промагрофонд» направлена на организацию, контроль и размещение активов для извлечения максимальной прибыли.

Управленческие решения администрации НПФ «Промагрофонд» безусловно направлены на повышение мотивации сотрудников, начиная от высоких должностей и заканчивая менеджерами. Ведь мотивация является одним из ключевых направлений в кадровой политике фонда. Также благодаря мотивации улучшается эффективность и производительность работы НПФ «Промагрофонд», а следовательно приносит и прибыльность фонду[1].

В НПФ «Промагрофонд» существует множество различных мотиваций. Фонд очень ценит каждого сотрудника и уважает его увлечения, хобби, которое не связано с работой. Например, спорт! Каждый сотруд-

ник может в свободное от работы время посещать бесплатно фитнес-центр «Империя Фитнеса». Благодаря этому, фонд получает двойной выигрыш. Во-первых, сотрудник видит, что он небезразличен для фонда, что к его увлечениям позитивное отношение и, конечно же, это сказывается на его работе в лучшую сторону; а во-вторых, когда сотрудник занимается любимым делом, расслабляется после работы, добивается успехов в жизни, тем выше качество и производительность его труда.

К каждому нужен индивидуальный подход. Для некоторых сотрудников фонда мотивацией служит то, что выслушивают его идеи (а ведь большинство идей очень хорошие), желания, дают возможность профессиональному росту. Здесь также у фонда двойной выигрыш: сотрудник чувствует то, что фонд нуждается в его идеи и старается как можно лучше все разработать и сделать, ну и НПФ от этого только плюс, ведь происходят улучшения.

В фонде используются инновационные подходы в информационных технологиях для создания новых путей повышения эффективности использования рабочего времени. Также периодически некоторые сотрудники посещают различные курсы: по повышению квалификации, по изучению иностранных языков. И тут снова двойной выигрыш: сотрудник чувствует себя нужным для компании, применяет новые знания и тем самым улучшает производительность труда.

Одной из популярных форм мотивации для многих сотрудников являются корпоративы, различные встречи и мероприятия. На этих мероприятиях происходит общение между отделами, группами. Они меняются информацией, дают друг другу положительные оценки по выполненному заданию, тем самым повышается уровень мотивации и производительность труда.

Конечно же, существует материальная мотивация, то есть ценные награды, выплачиваются премии. Обычно, в большинстве компаний, работникам выплачивается премия или выдаются ценные награды, но после завершения проекта, квартала или года. Получается, что все эти поощрения проходят редко и меньше влияют на производительность труда. В НПФ «Промагрофонд» выдаются меньшими суммами, или не такие крупные награды, но более частые. В результате связь становится более очевидной. Работники чувствуют, что у них появилось больше шансов добиться успеха.

Таким образом, можно говорить о том, что Негосударственный пенсионный фонд «Промагрофонд» являясь негосударственным по своей сути, отслеживает интересы своих клиентов с целью увеличения их накоплений, ставя своей целью повышение пенсий. Тем самым, решая социально-государственную задачу и привлечение новых клиентов. Для того, чтобы успешно и конкурентоспособно решать социальную задачу госу-

дарства необходимо обеспечить работу сотрудников фонда на современном инновационном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богословская А.Б. «Особенности принятия управленческих решений». Вестник РУДН, серия «Инженерные Исследования». – 2013 - №2. - С.25 - 30. [Bogoslovskaya A.B. "Features of managerial decision-making". Vestnik RUDN, Series "Engineering Research" - 2013 - № 2. - P.25 - 30.]
- [2] Письмо Минтруда РФ и ПФР от 1, 4 декабря 1997 г. № 5981-ЮЛ, ВБ-06-28/8681. [Letter from the Ministry of Labor and the PFR 1, 4 December 1997 № 5981-LE, VB-06-28/8681]
- [3] Федеральный закон от 17 декабря 2001 года №173-ФЗ «О трудовых пенсиях в Российской Федерации». [Federal Law of 17 December 2001 № 173-FZ "On Pensions in the Russian Federation"]

РОЛЬ МАЛОГО БИЗНЕСА В МОНГОЛИИ

А.Б. Богословская, к.ф.-м.н.

Анармаа Алтангэрэл

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием

Инженерный факультет

Российский университет дружбы народов

ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Работа посвящена рассмотрению возрастающей роли малого бизнеса в Монголии. Приведены критерии классификации национальных предприятий малого бизнеса. Рассматривается их динамика.

Ключевые слова: малый и средний бизнес, взрывное дело, бурение, заработная плата, мотивация, инжиниринг, экономико-хозяйственная деятельности, Монголия.

Малый и средний бизнес в Монголии является основным показателем экономики. Она является её особенностью. Переоценить роль малого и среднего бизнеса в социально-экономическом развитии Монголии невозможно.

Национальный комитет по статистике Монголии проводит каждые 5 года учёт хозяйствующих субъектов. Последний подсчёт проводился в 2011 году с 15 апреля по 15 мая. При подсчёте хозяйствующие субъекты разделили на 3 вида: коммерческие, некоммерческие организации и государственные организации. Поданным статистики в Монголии существует 66491 хозяйствующих субъектов. Из них 56589 коммерческие организации, 4011 государственные организации и 5891 некоммерческие

организации[1]. В период с 2006 по 2011 года количество хозяйствующих субъектов возросло на 32,8 тысячи. В особенности увеличилось количество коммерческих организаций(табл. 1).

Таблица 1.

Динамика количества хозяйствующих субъектов

Год	Всего	Коммерческие организации	Государственные организации	Некоммерческие организации
1998	18950	14045	3846	1059
2006	32410	26679	3398	2333
2011	65204	55366	3959	5879

Количество работающих в деятельности хозяйствующих субъектов играет важную роль в развитии предприятия. Рассмотрим динамику количества хозяйствующих субъектов по численности работающих[1].

Таблица 2

Динамика количества хозяйствующих субъектов Монголии по численности рабочих

Численность работающих	1998	2006	2011
Всего	18950	32410	65204
1-9	13826	26213	55777
10-19	2056	2957	4451
20-49	1923	2081	3288
50 и выше	1145	1159	1688

Из табл.2 видно, что количество хозяйствующих субъектов 85,6% занимают работающие с численностью 1-9; 6,8% - с численностью от 10 до 19; 5% - от 20 до 49, а оставшиеся 2,6% - 50 и с выше работающих.

Количество хозяйствующих субъектов с численностью работающих от 1 до 9 увеличивается. Это показывает, что малый бизнес в Монголии с каждым годом развивается. Хотя в стране не существовало законодательство, определяющее само понятие “предприятия малого и среднего бизнеса”, не были определены критерии классификации и правовое поле их деятельности, количество предприятий увеличивалось. Тем не менее в стране в 27 июля 2007 года утвердили первый закон “О малом и среднем предприятии”. В нём утвердили критерии малого и среднего предпринимательства (табл.3)[2].

Таблица 3

Критерии классификации предприятий малого и среднего бизнеса

Численность работников	Готовая выручка от реализации, млн. тугр.	Сфера деятельности
До 199	До 1500.0	Производство
До 149	До 1500.0	Оптовая торговля
До 199	До 1500.0	Розничная торговля
До 49	До 1000.0	Сфера обслуживания
От 1 до 19	До 250.0	Сфера обслуживания и производства

В результате принятия закона в стране появились фонды по поддержке малых и средних предприятий. Стало возможным проведение официальных регистраций и получение точных статистических данных по результатам их деятельности. Каждый год Центральный банк Монголии выделяет средства для развития хозяйствующих субъектов.

Одно из таких развивающихся малых предприятий является ООО «АПА Менежмент». Общество с ограниченной ответственностью Монгольское специализированное управление по производству буровзрывных работ «АПА Менежмент» было создано в 2009 году. Главной деятельностью является:

- Взрывные работы проводящиеся при строительстве и демонтаже зданий, сооружений, прокладке трубопроводов и автомобильных дорог и т. д.
- Бурение скважин, шурфов и т. д.

На сегодняшний день ООО «АПА Менежмент», располагая производственной базой и высокопрофессиональными специалистами, а также необходимым оборудованием для ведения взрывных работ и доставки взрывных материалов до места производства взрывных работ имеет лицензии на применение и хранение взрывчатых материалов промышленного назначения.

Особенности начисления заработной платы в компании «АПА Менежмент» представляет самостоятельный интерес в мотивации сотрудников, а так же в процессе управления предприятием. Компания финансируется за счет собственных средств. Предприятие обслуживается коммерческим банком «Хаанбанк», и имеет один расчетный счет, через который проходят все денежные потоки предприятия.

По закону о «Социально-страховых отчислениях» статья 15 пункт 1 от заработной платы отчисляется[3]:

Наименование страхования	Налогоплательщик, %	Работодатель, %
1. Пенсионное страхование	7	7
2. Страхование социального обеспечения	0,8	0,8
3. Медицинское страхование	2	2
4. Социальное страхование по безработице	0,2	0,2
5. Производственная травма		1.0, 2.0, 3.0
Итого	10	11, 12, 13

Данный налог не должен превышать 192.000 тугриков, так как минимальный размер заработной платы в Монголии 192.000 тугриков (с 1 сентября 2013 года). Например, если сотрудник имеет зарплату в размере 1600.000 тугриков, то от зарплаты вычитается 192.000 тугриков.

Фонд социального страхования Монголии выдаёт следующие виды пенсии и пособия[4]:

1. Из пенсионного фонда:
 - Пенсия по возрасту
 - Пенсия по потери кормильца
 - Пенсия по инвалидности
2. Из фонда социального обеспечения:
 - Пособие по временной нетрудоспособности
 - Пособие по беременности и родам
 - Социальное пособие на погребение
3. Из фонда производственных травм и профессиональных заболеваний:
 - Пособие по нетрудоспособности в связи производственных травм и профессиональных заболеваний
4. Из фонда по безработице:
 - Пособие по безработице
5. Из медицинского фонда:
 - Льгота при покупке медикаментов
 - Льгота при оказании услуг в медицинских учреждениях

В зависимости от деятельности компании от ставки зарплаты платиться налог в размере от 11-13%. Компания “АПА Менежмент” платит налог – 11%.

В соответствии по закону о “Налог на доходы физических лиц” из зарплаты удерживается налог в размере 10%. С 2006 года в законе о “Налог на доходы физических лиц” внесены изменения по статье 24 пункт 1, от годового налога налогоплательщик получает льготу в размере 84.000 тугриков в год (в месяц 7000 туг.)[5].

Если считать, что начисленная сотруднику заработная плата (ЗП) известна, то можно рассчитать отчисления от заработной платы:

1. Социальное страхование, 10% (СС)

Формула: $СС = ЗП \times 10\%$

2. Налог на доход физических лиц, 10% (НДФЛ)

Формула: $(ЗП - СС) \times 10\% - \text{льгота (7000 туг.)}$

3. Налог, который платит работодатель от заработной платы, 11%

Формула: $\text{Налог} = ЗП \times 11\%$

4. И тогда сотрудник реально получает:

Формула: $ЗП \text{ на руки} = ЗП - СС - \text{НДФЛ}$

Например, заработная плата сотрудника равна 800000 туг., тогда:

1. Социальное страхование = $800000 \times 10\% = 80000 \text{ туг.}$

2. НДФЛ = $(800000 - 80000) \times 10\% - 7000 = 65000 \text{ туг.}$

3. Налог, который платит работодатель от заработной платы = $800000 \times 11\% = 88000 \text{ туг.}$

4. Сотрудник реально получает = $800000 - 80000 - 65000 = 655000 \text{ туг.}$

Средняя заработная плата в Монголии составляет 692300 тугриков на первый квартал 2013 года. Средняя заработная плата в ООО “АПА Менежмент” составляет 570000 тугриков.

Средняя заработная плата ООО “АПА Менежмент” увеличивается в соответствии с увеличением заработной платы страны. Заработная плата является одним из показателей мотивации сотрудников предприятия (табл.4).

Таблица 4

Динамика средней заработной платы

Год	Средняя ЗП Монголии	Средняя ЗП ООО “АПА Менежмент”
2011	395400	370000
2012	495100	470000
2013	692800	570000

Каждое предприятие состоит из людей. В предприятии “АПА Менежмент” применяются следующие методы мотивации:

- Каждый квартал начисляется премия в размере 5% от заработной платы. Начисляют премию в конце каждого квартала;
- Стипендиальные программы (выделяется средства на образование для детей сотрудников);
- Программа обучения на организации (новые сотрудники проходят курс обучения).

Малый бизнес играет важную роль в формировании рыночной основы экономики Монголии. Несомненно, необходимо обратить внимание на укрепление предпринимательского слоя и создания конкурентной среды, которые могут обеспечить движение в сторону нововведений и эффективности производства в рыночной системе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Национальный комитет по статистике Монголии // статистические данные URL:<http://www.nso.mn>
- [2] О малых и средних предприятиях: Закон Монголии от 27 июля 2007г. URL:<http://www.legalinfo.mn>
- [3] О социально-страховых отчислениях: Закон Монголии от 31 мая 1994г. URL:<http://www.legalinfo.mn>
- [4] Главное управление социального страхования // URL:<http://www.ndaatgal.mn>
- [5] О налоге на доход физических лиц: Закон Монголии от 16 июня 2006г. URL:<http://www.legalinfo.mn>
- [6] Богословская А.Б. Особенности принятия управленческих решений, Вестник РУДН серия “Инженерное исследование”, 2013

MARKETING STRATEGIES AND MARKET ENTRY POLICY IN GLOBAL MARKET ARENA

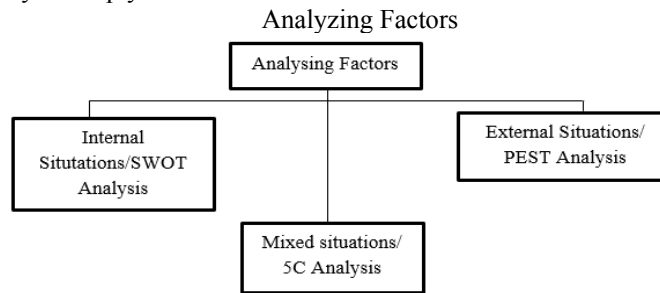
T.B. Ivanova, Ph.D.
Nazmul Hossain

Engineering Business and Enterprise management Department,
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

The world has become a global village and the economic affairs have been globalized. In this very condition expanding your business globally into new markets can be an effective way to leverage your core business for survival & growth. It is a great move that stimulate you for innovation in production and strategy and push you to become more competitive, effective and efficient. If you don't take the competitive advantages then your potential competitors will keep their footsteps to your door and shrink your existence market to dog down your market share. There are a variety of ways in which a company can enter a foreign market. No definite market entry strategy works for all international markets.

But entering into a new market is not a smooth way anyway. It takes a disciplined process to accurately assess the potential of each growth opportunity, because a bad bet can bog down your business. For effective footstep of a new market, several factors are needed to be analyzing on the basis of real circumstances of the target market to apply useful and effective strategies to get the desire market share and profit satisfying the customers need/ maximum output.

In order to have an effective and efficient business policy for a particular market, the company first must understand its internal, external, the macro-environmental and micro-environmental situations. Several factors are needed to be analysis deeply.



SWOT Analysis

SWOT analysis, which can be used out for a product, place, industry or person, is a structured planning method used to evaluate strength, weakness, opportunities and threats of a project or business venture. It is a useful tool for understanding and decision-making for all sorts of situations in business and organization. SWOT analysis specifies the objective of a business venture or project and identifies the internal and external factors that are favorable and unfavorable to achieve the objective.

PEST Analysis

PEST is an external situation analysis refers to political, economic, social and technological situation of targeted country. PEST can help company's decision making & timing. "The best outcome of the PEST analysis would be if your company is able to make the right decision at the right time by analyzing different external factors. Another benefit of PEST analysis is it could aid you in predicting the future looking at the present. PEST gives bird's eye view of the whole environment from many different angles that one wants to check and keep a track of while contemplating on a certain idea.

5C Analysis

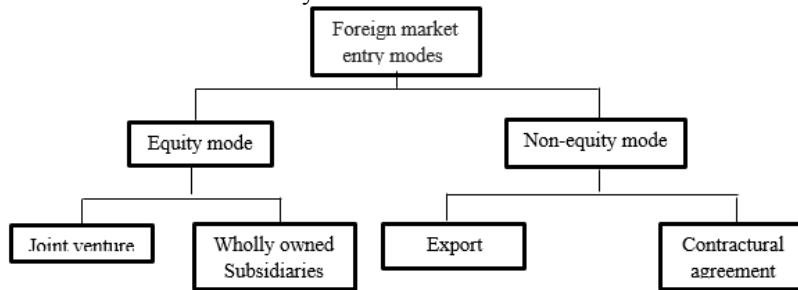
A useful framework for performing a situation analysis is the 5C analysis. The 5C Analysis is an environmental scan on 5 key areas especially applicable to marketing decisions. It covers the internal, the micro-environmental & the

macro-environmental situations which include company, customers, competitors, collaborators and clients.

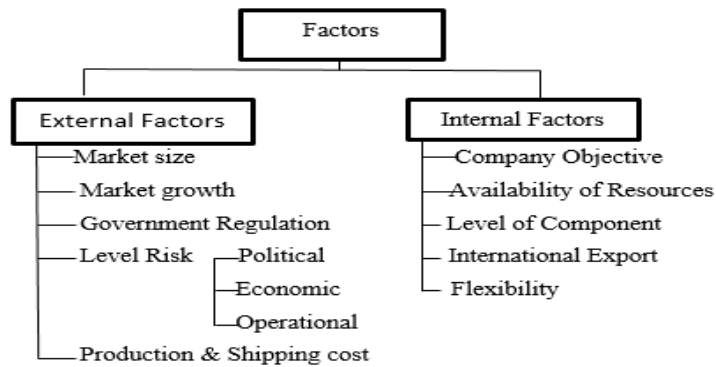
Moreover, these following functions are indispensable to analysis for a profitable entrance of a new market place: GDP of the country, GDP per capita, GDP growth, demography, market size & growth, timing of the market entry etc.

Foreign market entry modes (Participation strategy)

Understanding the available modes of entry can help your business enter into foreign markets more easily and with a greater chance for success. Factors affects international market entry mode



Factors affect international market entry mod



Risk Analysis

Risk Analysis is one of the most significant tasks to enter into a new market. Some of the risks incurred when entering into a new market and start domestic and international trade, include:

- Sovereign risk
- Foreign exchange risk
- Liquidity risk
- Political turmoil/war
- Systematic risk
- Weather risk

To mitigate /minimize the risk, the knowledge about the target market and effective and efficient measures are indispensable. A company with a higher business risk should choose a capital structure that has a lower debt ratio to ensure that it can meet its financial obligations at all times.

To calculate business risk, analysts use four simple ratios:

- Contribution margin
- Operation leverage effect
- Financial leverage effect and
- Total leverage effect.

Relation with state

Relation with state is very important factor to successfully manipulate a business in any particular country. Moreover, state is a very broad customer. So, maintaining good relation is a very significant factor for a business.

Ways to achieve state's sympathy

- Involve in Social well fear activities
- Sponser in state occasions

Return on Investment (ROI)

In every industry, collecting metrics that indicate the return on investment for a particular business event, campaign or strategy is essential to the success of your operations.

Return on Investment

Return on investment (ROI) is a popular financial metric for evaluating the financial consequences of individual investments and actions.

Calculation of Return on Investment

$$RIO = NP/IV * 100$$

Where,

NP=net profit

IV=investment

Net profit=gross profit-expenses

Investment=stocks+ market + outstanding + claims

Beta

Beta is used in the capital asset pricing model (CAPM), a model that calculates the expected return of an asset based on its beta and expected market returns.

A common expression for beta is

$$\beta = \frac{\text{Cov}(r_a, r_b)}{\text{Var}(r_b)}$$

Where,

Cov= the covariance

Var =variance operators

In this ever competitive global business arena, extending the market places and entering into a market is very important to survive and sustain. But entering into a new market is not easy any way. Effective and efficient market strategies are indispensable to reach the desired goal. To pave the way for deep and effective analysis in internal, external, micro and macro-economic factors of targeted market are essential.

REFERENCES

- [1] Humphrey, Albert (Dec 2005) "SWOT Analysis for Management Consulting" SRI Alumni Newsletter (SRI International)
- [2] Streenburgh, Thomas; Avery, Jill, "Marketing Analysis toolkit: Situation Analysis" Case Harvard Review. Retrieved 4th Feb 2010
- [3] Anderson, Gene (Mar 2005). "Framework for marketing planning", Michigan Business School Publication
- [4] Hossein, Bidgoli, Handbook of Information Security, Threats, Vulnerabilities, Prevention, Detection, and Management (2006), p. 951
- [5] Collins, Rob. "A Graphical Method for Exploring the Business Environment". Retrived 19th June 2014

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНАХ И НА РОЗНИЧНОМ РЫНКЕ: ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЕКТЫ, ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА.

А.В.Кулаков¹

Ю.А.Назарова, к.э.н.²

1. ООО «Интер РАО - Инжиниринг», г. Москва, Россия

2. НП «Совет участников рынка возобновляемой энергетики», г. Москва, Россия

В статье анализируется существующая система поддержки объектов на базе возобновляемых источников энергии. Приведены примеры реализованных в РФ проектов и перспективных проектов российских энергетических компаний. Представлен обзор существующих технологий.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, нормативно-правовая база, технологии ВИЭ.

В настоящее время основу малой распределенной генерации России составляют около 60 тыс. объектов, общая мощность которых составляет более 20 ГВт. Около 85% из них, в основном дизельные электростанции (ДЭС), расположены в децентрализованных районах.

В связи с тем, что завозное топливо и устаревшее оборудование ДЭС определяют высокую стоимость энергообеспечения в локальных системах, выбор новых технологий должен быть ориентирован в первую очередь на доступные местные ресурсы, включая возобновляемые источники энергии.

Уровень развития современных технологий в области малой генерации, накопителей энергии, возобновляемых источников энергии и информационных технологий позволяет эффективно решать задачи надежного и качественного энергоснабжения.

На сегодняшний день на розничном рынке электроэнергии, в изолированных энергосистемах и неценовых зонах уже существуют успешные примеры реализации проектов малой энергетики, в том числе и на основе ВИЭ.

Целью этих проектов в разных регионах являлись: снижение негативного воздействия на окружающую природную среду, экономия дизельного топлива, увеличение моторесурса дизельных электростанций.

Так, например, компания «АльтЭнерго» реализовала пилотный проект «Лучки» - строительства ВИЭ-комплекса в составе биогазовой станции, СЭС и ВЭС в Белгородской области. Экономическим механизмом поддержки этого проекта является фиксированный тариф на электрическую энергию.

Таблица 1
Основные технико-экономические показатели современных технологий на базе ВИЭ

Технология	КИУМ	Срок службы, лет	CAPEX, евро/кВт	Постоянные OPEX, % от CAPEX	Переменные OPEX, евро/МВт*ч
Наземные ВЭУ	23%-40%	20	1200-2300	2,7%	-
Оффшорные ВЭУ	34%-50%	20	3080-4760	3,7%	-
PV для коммерческого использования 0,1-2 МВт	13%-17%	25	1000-1200	2,5%	-
PV для коммерческого использования > 2 МВт (без микроконтроллера)	13%-17%	25	900-1400	1,7%	-
PV для коммерческого использования > 2 МВт (с микроконтроллером)	18%-21%	25	1350-1700	1,5%	-

РВ для бытового использования менее 100 кВт	12%-17%	25	1150-1850	2%	-
Плотинные ГЭС до 10 МВт	37%	60	2000-6000	1,5-3%	5
Деривационные ГЭС	37%	60	2500-8000	1,5-3%	5
ГеоТЭС (прямой пар, 2,5 км глубина)	95%	30	2500-5930	1,4%	
ГеоТЭС (бинарный цикл)	95%	30	6970-7470	2,1%	
ГеоТЭС (бинарный цикл, 5,5 км глубина)	95%	30	11700-13400	1,8%	
Волновая энергия	20%-36%	20	7590-10700	3,6%	
Энергия приливов	34%-36%	20	9300-12300	3,4%	
Биомасса	90%	25	1760-5530	2,2%	8,2
Биогаз	90%	20	2540-6380	2%	3,1
Топливные элементы (протообменная мембрана)	98%	3	47500-52500	0	200
Твердоокисдный топливный элемент	98%	3	17100-18900	0	120
Топливные элементы с расплавленным карбонатным электролитом	98%	5	3390-3750	0	40

Источник: Energy Technology Reference Indicator (ETRI) projections for 2010-2050, 2014

Компаниями «Передвижная энергетика» и «Активити» накапливается практический опыт в области строительства и эксплуатации ветродизельных комплексов на Севере России и Дальнем Востоке.

В августе 2014 года в пригороде Томска появилась частная гидроэлектростанция мощностью 1 МВт, работающая от сточных вод очистных сооружений. Вырабатываемая электроэнергия используется для нужд самих очистных сооружений. Помимо использования по прямому назначению, на станции организовано практическое обучение студентов Томского политехнического университета.

В сентябре 2014 года завершено строительство крупнейшей в России СЭС мощностью 5 МВт, построенной в Кош-Агачском районе Республики Алтай. Это первый объект, реализованный в рамках Постановления Правительства РФ о поддержке использования ВИЭ.

Несмотря на то, что малая распределенная генерация может стать новым драйвером регионального развития и привлечения частных инвести-

ций, привлекательность таких проектов в целом остается низкой. По нашему мнению, не решены две главные проблемы:

1. Формирование долгосрочных и справедливых цен (финансовые гарантии) на энергоресурсы, продаваемые объектами малой генерации на рынок и конечным потребителям;

2. Формирование эффективной системы сервисного обслуживания объектов малой генерации и неудовлетворительное финансовое состояние региональных энергоснабжающих организаций (затраты на субсидирование неэффективной генерации в 2013 году в России составили более 100 млрд. рублей).

Несмотря на расчетную экономическую эффективность проектов строительства объектов малой распределенной генерации в локальных энергосистемах, сегодня для частных инвесторов нет надежных гарантий возврата денежных средств. Именно поэтому в таких проектах пока могут участвовать только крупные федеральные компании, в основном с государственным участием, или региональные компании, готовые взять на себя существующие финансовые риски.

Среди крупных компаний с государственным участием можно отметить ОАО «РусГидро» и ОАО «РАО ЭС Востока».

ОАО «РусГидро» проводит работы, связанные с ветровой и геотермальной энергетикой, энергией приливов, что отражено в «Программе инновационного развития ОАО «РусГидро» до 2021 года». В компании разработан план развития малой гидроэнергетики на перспективу до 2025 года (табл. 2).

Решение ОАО «РАО ЭС Востока» о реализации пилотных проектов ВИЭ также отражено в «Программе развития возобновляемых источников энергии Холдинга ОАО «РАО Энергетические системы Востока» на период до 2016 г. с перспективой до 2020г.». Подобные инициативы актуальны для локальных энергосистем Российского Севера и Дальнего Востока, где прогнозируют опережающий рост электропотребления.

Таблица 2

Основные пилотные проекты ОАО «РусГидро»

Наименование проекта	Регион	Мощность
Опытно-промышленный бинарный блок на Паужетской ГеоЭС	Камчатский край	2,5 МВт
Разработка и научное обоснование схем использования малых рек и ГТС неэнергетического назначения	-	До 30 МВт
Малые ГЭС: Барсучковская	Ставропольский край	5,04 МВт
Сенгилеевская	Ставропольский край	10 МВт
Большой Зеленчук	Республика Карачаево-Черкесия	
Усть-Джегутинская	Республика Карачаево-Черкесия	5,6 МВт

Зарагжская	Республика Кабардино-Балкария	
Опытно-промышленная приливная станция в губе Долгая (Северная ПЭС)	Мурманская область	12 МВт

Источник: ОАО «РусГидро»

По данным ОАО «РАО ЭС Востока» в 2013 г. введено 825 кВт установленной мощности объектов ВИЭ. До 2020 г. ввод объектов ВИЭ в Республике Саха, на Камчатке и Сахалине составит более 82 МВт. На финансирование этой программы предполагается выделить около 10 млрд. рублей.

Таблица 3

Перспективные проекты ВИЭ в децентрализованных районах ДФО

Категория проекта	Количество проектов, шт	Установленная мощность, кВт	Необходимое финансирование, млн. руб.
Проекты СЭС	157	61840	6567
Проекты ВЭС	22	19700	3281
Проекты мини-ГЭС	6	700	89

Источник: ОАО «РАО ЭС Востока»

Свою заинтересованность в строительстве объектов малой распределенной генерации демонстрируют и другие крупные генерирующие компании: Евросибэнерго, Волжская ТГК (бывший КЭС-Холдинг), Е.ON, Фортум.

Строительство объектов малой распределенной генерации в локальных и удаленных энергосистемах может быть интересно по следующим причинам:

- 1) Снижение затрат на покупку электроэнергии на 10-20% на период окупаемости проекта и на 70-80% после окупаемости капитальных затрат;
- 2) Возможность использования местных видов топлива и других природных ресурсов, что позволяет снизить затраты на дорогое привозное топливо;
- 3) Снижение затрат на технологическое присоединение и повышение надежности электроснабжения;
- 4) Уменьшение затрат на транспортировку электроэнергии и сокращение потерь, повышение качества электроэнергии;
- 5) Улучшение экологической обстановки непосредственно в месте размещения объекта генерации;
- 6) Замена изношенных объектов генерирующего хозяйства современным энергоэффективным оборудованием;
- 7) Улучшение имиджа региона или промышленного предприятия.

Проекты малой распределенной генерации способны стать драйвером развития многих российских регионов, залогом их экономического процветания и основой для повышения качества жизни населения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маркин В.В. Устойчивое развитие энергоэффективной комфортной пространственной среды – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2011. – 95 с.
- [2] Салихов А.А. Неоцененная и непризнанная «малая» энергетика – М: Изд-во «Новости теплоснабжения», 2009. – 176 с.
- [3] Шафранник Ю.К., Бушуев В.В., Безруких П.П. и др. Концепция развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России – М.: Минтопэнерго РФ, 1994. – 95с.
- [4] ООО «Активити» <http://rus-wind.com/>
- [5] НП «Совет Рынка» <http://www.np-sr.ru>
- [6] <http://altenergo.su/biogas/>

МОДЕЛИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ АКТИВОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ИНВЕСТИЦИЙ В НЕДВИЖИМОСТЬ

В.В.Сорокина, аспирант

М.В. Шпак

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

За последние несколько лет развитие методологии оценки недвижимости в России позволило сформулировать основные принципы и подходы, отражающие современный уровень практики оценки. Сегодня российские оценщики стремятся использовать весь арсенал методик и техник, отработанных в течение последних десятилетий. И в этом вероятно залог как успешной интеграции российской оценки в международное экономическое сообщество, так и признания российских оценщиков этим сообществом в качестве равноправных партнеров.

Современная теория оценки инвестиций в недвижимость находится в постоянном развитии. Это обусловлено, с одной стороны, сложными и неоднозначными характеристиками недвижимости как инвестиционного актива, а с другой стороны - постоянным развитием и изменением экономических характеристик самого рынка. Одним из возможных и кажущимся наиболее простым подходом к развитию методологии оценки на рынке инвестиций в недвижимость является адаптация применительно к недвижимости методов оценки, используемых на других рынках, в частности на рынке инвестиций в финансовые активы.

Из общей теории инвестиционного анализа известно, что оценка инвестиций выполняется либо в условиях определенности, либо в условиях неопределенности.

В условиях определенности стоимость инвестиции определяется дисконтированной стоимостью будущих денежных потоков. При этом в качестве нормы дисконтирования используется безрисковая ставка, отражающая временные предпочтения инвестора относительно собственного текущего и будущего потребления.

В условиях неопределенности задача оценки инвестиции существенно усложняется, так как величины фактических денежных потоков становятся функциями факторов, являющихся случайными величинами. В этом случае для оценки результата вложения капитала применяются различные методы, в основе своей направленные на исследование влияния неопределенности на величину стоимости инвестиции. Одним из направлений таких исследований является модельное упрощенно-абстрактное представление конкретного инвестиционного актива, которое связывает его стоимость с каким-либо численным параметром, обобщающим реакцию рынка на характеристики данного актива. К подобным моделям относятся прежде всего модель дисконтирования денежных потоков при скорректированной на риск норме дисконтирования, модель ценообразования финансовых активов (САРМ), модель оценки опционов, модель арбитражного ценообразования (АРТ) и т. д.

Настоящая работа посвящена вопросам обоснованности и корректности применения для оценки инвестиций в недвижимость модели ценообразования финансовых активов, которая в англоязычной аббревиатуре именуется САРМ - Capital Asset Pricing Model.

Основные предпосылки и допущения САРМ. Модель ценообразования финансовых активов была сформулирована в 1964 году В. Шарпом, а также Д. Линтнером и Ж. Моссэном на базе теории портфеля.

Прежде всего следует отметить, что САРМ является описательной моделью формирования цен финансовых активов на основе их текущего дохода и нормы прибыли. Основной идеей САРМ является предположение о том, что норма прибыли инвестиции является линейной функцией ассоциируемых с ней рисков:

$$r_s = r_{rf} + \beta(r_m - r_{rf})$$

где r_s - норма прибыли по инвестиции s ;

r_{rf} - безрисковая норма;

r_m - рыночная норма прибыли;

β - показатель рыночного риска актива.

Линейная форма зависимости имеет место только в результате действия основных допущений модели, из которых для целей нашего анализа прежде всего, следует отметить следующие:

Инвесторы производят оценку инвестиционных портфелей, основываясь на ожидаемых величинах прибыли и их стандартных отклонениях за

период владения. Инвесторы никогда не бывают пресыщенными. При выборе между двумя портфелями они предпочитают тот, который при прочих равных условиях дает наибольшую ожидаемую прибыль. Инвесторы не склонны к риску. При выборе между двумя портфелями они предпочитают тот, который при прочих равных условиях имеет наименьшее стандартное отклонение. Инвестиционные активы бесконечно делимы. Существует безрисковая процентная ставка, по которой инвестор может дать в долг или взять в долг денежные средства. При этом безрисковая ставка для всех инвесторов одинакова. Налоги, операционные и транзакционные издержки отсутствуют. Рыночная информация свободно и незамедлительно доступна для всех инвесторов. Инвесторы одинаково оценивают прибыли, отклонения и аналогичные параметры.

Модель CAPM базируется на теории портфеля и описывает состояние рыночного равновесия, когда все инвесторы поступают одинаково и можно выявить соотношение между риском и прибылью каждого актива. При этом каждый инвестор владеет одинаковым набором рискованных активов и различными количествами безрисковых инструментов заимствования или кредитования. Именно изменение доли безрисковых вложений позволяет инвесторам достигать желаемого соотношения риска и прибыли всего портфеля.

Одним из следствий взятого в основу состояния рыночного равновесия является присутствие в каждом портфеле абсолютно всех активов, имеющих на рынке, в пропорции, соответствующей составу так называемого рыночного портфеля. В свою очередь, рыночный портфель включает все виды активов, доля каждого из которых определяется отношением его совокупной рыночной стоимости к совокупной рыночной стоимости всех активов.

Определив основные "рамки", в пределах которых работает CAPM, перейдем к рассмотрению основных входящих в модель величин и методов их определения.

Подходы и методы определения параметров CAPM. Безрисковая ставка. Для работы на рынке финансовых активов, то есть ценных бумаг, в качестве безрисковой ставки r_f принимаются ставки по Государственным ценным бумагам. При этом отсутствие риска связывают со способностью государства в любой момент напечатать деньги и расплатиться по своим обязательствам. Но, при более детальном рассмотрении вопроса становится очевидной проблема выбора конкретной ценной бумаги, так как прибыльность, структура платежей и вполне рыночно объяснимые колебания прибыльности исключают его однозначность, а, следовательно, и однозначность получаемой величины стоимости актива. Более того, в соответствии с основными предпосылками CAPM, безрисковая ставка

одновременно должна быть и безрисковой ставкой по кредитам, что привносит еще большую неопределенность в процедуру ее выбора.

Практика зарубежного фондового рынка в качестве ставки, примерно соответствующей безрисковой, определяет ставку по краткосрочным (до 3 месяцев) Государственным обязательствам, учетную ставку или ставку рефинансирования Центрального банка, средневзвешенную ставку по межбанковским кредитам.

Рыночная ставка. По определению рыночная ставка gm соответствует прибыльности рыночного портфеля, который, как уже было сказано, является основой CAPM. Парадокс заключается в том, что до настоящего времени рыночный портфель в его строгом толковании реально определить не удалось. Теоретически рыночный портфель должен включать все активы общества, включая все виды ценных бумаг, недвижимость, наличные деньги, драгоценные металлы, произведения искусства, товары длительного пользования и даже образование, которое также является предметом инвестиций. Если даже составление рыночного портфеля представляет существенную трудность, то определение рыночной стоимости его компонентов является задачей, практически нереальной. Именно вследствие неопределенности рыночного портфеля корректно проверить достоверность CAPM невозможно.

В практике фондового рынка рыночный портфель аппроксимируется портфелем, состоящим из ограниченного набора ценных бумаг, входящих, например, в котировки специализированных организаций мониторинга фондового рынка. При этом, также как и в случае безрисковой ставки, средневзвешенная прибыль такого портфеля будет колебаться в зависимости от характеристик составляющих его индивидуальных активов.

Еще одно обстоятельство, о котором следует упомянуть, заключается в том, что рыночная прибыльность, входящая в CAPM, является ожидаемой и относится к будущему, а технически имеется возможность определить только ретроспективную прибыльность, экстраполируемость которой на будущее не всегда обоснована.

Коэффициент b . По определению b рассчитывается как ковариация отдельного актива и рыночного портфеля в целом. Так же, как и в случае gm , на практике можно определить только историческое значение b , сохранение которого в будущем является вопросом весьма спорным.

Норма прибыли инвестиции rs . В результате применения CAPM аналитик получает норму прибыли конкретной инвестиции, которая при оценке данной инвестиции используется как норма дисконтирования в DCF-модели. Вполне закономерно, что величина rs суммирует все "допуски" составляющих. При этом одним из наиболее спорных является вопрос корректности применения исторической нормы прибыли для дис-

контрирования денежных потоков, поступающих через несколько лет в будущем. Наконец, еще раз подчеркнем, что ни достоверно подтвердить, ни опровергнуть результат, полученный с применением САРМ, нельзя.

Подводя итог краткому рассмотрению САРМ, можно вполне обоснованно назвать данную модель достаточно абстрактной. Использование ее на фондовом рынке можно определить термином "применительно" и считать возможным только благодаря достаточно близкому соответствию рынка ценных бумаг понятию совершенного рынка.

Применение САРМ при оценке инвестиций в недвижимость. Обоснованность корректного моделирования ценообразования на рынке инвестиций в недвижимость прежде всего заключается в соответствии инвестиционных характеристик недвижимости исходным предпосылкам, лежащим в основе применяемых моделей. Не останавливаясь подробно на обсуждении характеристик товара на рынке инвестиций в недвижимость, отметим лишь некоторые узловые моменты.

Прежде всего, общеизвестные разработки в области управления портфелем инвестиций в различные активы, в свое время заставили аналитиков обратиться к недвижимости, как к активу, очень гармонично дополняющему в портфеле акции и облигации в результате отрицательной с ними корреляции. При этом под инвестицией в недвижимость в общем смысле понимается инвестиция в приобретение полного или частичного права собственности на сданную в аренду недвижимость, обеспечивающую инвестору регулярные поступления дохода в виде арендной платы.

Как правило, объектом инвестиции является первоклассная офисная, торговая и реже - новая промышленно-складская недвижимость. Такой выбор основан на том, что, как правило, только сочетание риска и прибыли инвестиции в первоклассную недвижимость и может обеспечить диверсифицирующую привлекательность этого актива для большинства портфельных инвесторов, в первую очередь - институциональных.

В отличие от фондового рынка, рынок недвижимости в общем, и рынок инвестиций в недвижимость в частности, практически находятся на противоположной границе диапазона "совершенный-несовершенный рынок". Сделки на рынке инвестиций в недвижимость, даже на развитых рынках, имеют единичный характер. Большая часть недвижимости различных типов, как активы, не вовлечена в формирование инвестиционных портфелей. Информация о сделках с коммерческой недвижимостью, как правило труднодоступна. Цена сделок не формируется механизмом фондовой биржи, а определяется профессиональными оценщиками. Как актив, недвижимость характеризуется высоким уровнем операционных расходов, трансакционных издержек и налогов.

Уже вышеперечисленные характеристики недвижимости делают принципиально невозможным построение линейной модели равновесия.

Предположим, однако, что аналитику они неизвестны и он все же пытается применить CAPM для определения нормы дисконтирования при оценке инвестиций в недвижимость.

Как правило, в качестве безрисковой ставки используется ставка по валютным депозитам или Государственным обязательствам. Это предполагает, что рассматривается единый рыночный портфель, включающий как финансовые, так и реальные активы. При этом все реальные активы (недвижимость) должны быть оценены и включать не отдельные объекты, а весь перечень инвестиционной недвижимости как минимум, чтобы модель сформировала рыночную норму прибыли в состоянии равновесия. Как показывает современный зарубежный опыт, все попытки составить рыночный портфель инвестиционной недвижимости пока заканчивались неудачно. Есть основания считать, что и в российской практике оценки решение данной проблемы в ближайшие десятилетия представляется маловероятным.

Возвращаясь еще раз к исходным предпосылкам CAPM, можно отметить, что она построена на теории портфеля. По аналогии, портфель реальных активов инвестора должен быть настолько представительным, чтобы полностью диверсифицировать несистематический риск. На практике составить такой портфель сегодня не могут даже самые крупные финансовые институты. Поэтому использование нормы прибыли, полученной при помощи CAPM для дисконтирования денежных потоков индивидуальной инвестиции в недвижимость является еще более некорректным, так как данная величина не учитывает несистематический риск инвестиции.

Таким образом, если модель оценки финансовых активов при применении на фондовом рынке справедливо считают относительно абстрактной, то применение данной модели для оценки инвестиций в недвижимость с полным основанием можно рассматривать как абстракцию в квадрате. Соответственно, результаты, полученные с применением такого подхода, нельзя называть имеющими отношение к стоимости инвестиции в недвижимость.

Вполне объяснимым можно считать желание применить простую формулу CAPM для "обоснования" нормы дисконтирования на рынке недвижимости. Однако, с теоретической точки зрения, подобные манипуляции с цифрами даже отдаленно не соответствуют желанному термину "применительно". Более того, если исключить вероятность недостаточной теоретической подготовки аналитика, сам факт применения CAPM на рынке недвижимости можно классифицировать как сознательное введение в заблуждение потребителя оценочных услуг.

Несовершенство рынка недвижимости требует особых подходов при разработке методов определения нормы дисконтирования. Скорее всего,

такие методы вряд ли можно будет разработать на простой формальной основе и без учета реально складывающегося инвестиционного окружения. Именно на разработке новых предложений для решения проблемы определения нормы дисконтирования и должны сосредоточиться мощные силы молодой российской оценочной науки.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАЛОГО БИЗНЕСА

В.С. Титов

Г.М. Кутльева, к.т.н.

Д.С. Тубол

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассматривается опыт развития малых предприятий в отечественной и зарубежной практике.

Ключевые слова: малое предприятие, планирование, банкротство, кредитование, управленческие навыки.

Малые и средние предприятия занимают доминирующее положение, в экономике различных стран оказывая значительное влияние на социальные проблемы, увеличение численности занятых работников. Технический прогресс, удовлетворение потребительского спроса определяют эффективность работы малых и средних предприятий.

«Малый бизнес» - это предпринимательская деятельность. В каждой стране существуют свои законы отнесения предприятий к разряду малых. Но основным критерием является численность предприятия. Международная Организация Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР) устанавливает предприятия как «сверхмалые» с количеством занятых в производственном процессе до 19 чел., как «малые» - до 99 чел., как «средние» - от 100 до 499 чел. и свыше 500 чел. как крупные.

В Соединённых Штатах Америки, установлено, что малое предприятие – это предприятие с числом занятых до 500 чел. Величина активов на этом предприятии должна не превышать 5.000.000 долларов США, а годовая прибыль не должна превышать 2.000.000 долларов США. Федеральное Министерство Хозяйства Германии относят к малым предприятиям фирмы число занятых в которых не превышает 49 чел. В России, в соответствии с законом о поддержке малого бизнеса к сверхмалым относят предприятия численностью до 15 человек, к малым – численностью до 100 человек, средним – численностью до 200 человек.

Более определённое понятие о малом бизнесе отсутствует.

Малые предприятия часто сталкиваются целым рядом проблем. Частой причиной банкротства малых предприятий является недостаточная капитализация. Это часто является результатом плохого планирования, а не экономических условий. Предприниматели должны иметь определенную сумму денег, по крайней мере, равной прогнозируемым доходам за первый год бизнеса в дополнение к его предполагаемым расходам. Например, если потенциальный владелец думает, что он будет генерировать 1000000 руб. доходов в первый год с 1500000 руб. расходов на начальном этапе, то он должен иметь доступным не меньше, чем 2500000 руб. Неспособность обеспечить такой уровень финансирования для компании, согласно теории капитализации, в конечном итоге приведет к банкротству т.к. владелец несет ответственность за все долги компании.

Помимо того, что бизнес должен иметь достаточный капитал, владелец малого бизнеса должен также помнить о марже (продажи за вычетом переменных затрат). Бизнес должен иметь возможность достичь такого уровня продаж, где маржа будет равна постоянным издержкам. Контроль стоимости или цен часто позволяет решить эту проблему.

В Соединенных Штатах Америки и некоторых других странах, одной из крупнейших проблем владельцев малого бизнеса являются расходы на страхование (например, ответственность и здоровье), энергетические затраты, налоги и соблюдения налогового законодательства. В Соединенном Королевстве, Австралии, России и некоторых других стран, владельцы малого бизнеса, как правило, больше всего волнуют проблемы, связанные с чрезмерной государственной волокитой.

Еще одна проблема для многих предприятий малого бизнеса называется «Предпринимательский миф» или Е-миф. Мифическое предположение, что специалист в данной технической области также будет хорошим предпринимателем. Любой предприниматель должен иметь управленческие навыки, которые необходимы чтобы сохранить бизнес. Это непонимание возникает из-за неспособности различать руководителей малого бизнеса как предпринимателей, а не руководителей крупного бизнеса. В то же время почти все владельцы, менеджеры небольших фирм, берут на себя роль руководителя, и лишь меньшинство выступает в качестве предпринимателя.

Исследования показали, что более чем в половине мелких фирм отсутствует бизнес-план. Бизнес-план считается одним из наиболее важных факторов для обеспечения успеха, Бизнес-планирование связано с позитивностью роста. Если вы ищите финансирование бизнеса, то большинство финансистов требуют бизнес-план. Этот документ также является основой для стратегического планирования.

Обучение основам иностранного языка является важным решением, чтобы открыть двери на новые рынки. Например, большое количество

предпринимателей хотят экспортировать свои товары в Китай, но не имеют никакого желания изучать китайский язык.

Программы кредитования малого бизнеса и долгового финансирования играют большую роль в малом бизнесе. Правительство США и Администрация малого бизнеса (СБА) США в 2014 году проявила инициативу в укреплении сектора малого бизнеса. Инициатива призвана предоставить им оборотный капитал по более доступным кредитным ставкам, тем самым сократить краткосрочные издержки заимствования, позволяя больше ресурсов быть направлять инвестиции в развитие бизнеса и увеличение найма рабочих.

По данным Бюро трудовой статистики США, примерно две трети новых предприятий, как правило, не выживают более 2 лет, около 50% не выживают, по крайней мере, 5 лет. Более 5-ти лет выживают только те, кто достигает более высокого уровня. Финансы оказывают решающее влияние на выживание предприятий.

Бизнес динамика занятости, показывает, что с создания новых малых предприятий, начинается расширение экономики. Администрация малого бизнеса США (УМБ) считает, что 80% новых рабочих мест, являются производными от малого бизнеса. Однако, необходимо учитывать, что эти статистические данные могут колебаться, т.к. некоторые компании малого бизнеса расширяются и классифицируются уже как крупные организации.

У малых предприятий могут возникнуть несколько проблем, связанных с корпоративной социальной ответственностью. Владельцы малых предприятий часто не могут участвовать в повседневной деятельности их компаний. К этому приводит нехватка времени у владельца, чтобы координировать усилия в социально ответственных областях. Малые предприятия сталкиваются также с формами давления со стороны крупных предприятий в соответствующих отраслях. Малым предприятиям трудно противостоять и работать против производственных ожиданий. И тем не менее малый бизнес позволяет быстрее приспособиться к меняющимся условиям. Малый бизнес позволяет заполнить рынок товарами и услугами необходимые обществу, а также реализовать творческий потенциал миллионов трудоспособных граждан.

ОСОБЕННОСТИ СРАВНЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.

Г.М. Кутлыева, к.т.н.

В.Д. Долгушин, к.т.н.

С.О. Орешкин, аспирант

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье рассмотрены особенности технико-экономического сравнения строительно-монтажных работ и актуальность решения проблемы для будущего конкретного экономического субъекта.

Ключевые слова: технико-экономические показатели, строительно-монтажные работы, управленческие решения, бизнес-планирование.

В современных условиях вопросы технико-экономического обоснования строительства, и меры по их улучшению для компании имеет первостепенное значение, так как для того, чтобы повысить эффективность своих строительных проектов необходимо уже на стадии проектирования рассчитать технико-экономические показатели производства строительно-монтажных работ.

Важность данной тематика в настоящее время подтверждена трудами ряда ведущих российских экономистов, которые ставят во главу высокой эффективности производственно-экономической деятельности строительного предприятия, прежде всего, эффективную систему технико-экономического обоснования деятельности [2,3], которая позволит оптимизировать движение материальных потоков, снизить потери финансовых, материальных и трудовых ресурсов, сокращения неоправданной и неэффективной численности персонала. Кроме этого даст строительной компании необходимое движение в сторону повышения прибыльности и эффективности деятельности, а также позволит принимать оперативные управленческие решения по всем аспектам производственно-экономической, финансовой и инвестиционной деятельности строительного предприятия.

В связи с этим решения данных проблем для будущего конкретного хозяйствующего субъекта очень актуальна, так как эффективная система технико-экономического обоснования, предоставит экономическому субъекту дополнительные конкурентные преимущества в части повышения качества и эффективности выполняемых строительно-монтажных работ.

Оптимизации выполняемых строительно-монтажных работ повысит рентабельность путем более гибкого управления распределением мате-

риальных запасов в соответствии со структурой производственного процесса.

Технико-экономическое обоснование, в некоторой степени, представляется порой в виде версии бизнес-плана [1], или, напротив, это обычный бизнес-план, называемый технико-экономическим обоснованием.

Причем, если порядок составления и структуры бизнес-плана прописаны, то при составлении технико-экономического обоснования можно найти несколько различных вариантов написания, которые различаются в зависимости от рассматриваемых проблем.

Рассмотрим вопросы качества планирования строительно-монтажных работ в рамках технико-экономического обоснования, которая является неотъемлемой частью деятельности строительных предприятий.

Планирование и управление качеством является функцией управляющего персонала организации, включая руководство организации и руководителей всех структурных подразделений[3].

Планирование качества выполнения строительно-монтажных в организации осуществляется путем разработки программ качества на возведение конкретных строительных проектов. Программы качества являются составной частью бизнес-плана, который, в свою очередь, является моделью деятельности организации в рыночных условиях, то есть новой прогрессивной формой плана.

Программа качества должна определять конкретные меры в области качества, распределения ресурсов и последовательности деятельности по каждому возводимому объекту и каждому планируемой организации процессу для обеспечения требованиям, выполняемых работ и возводимым объектам.

При этом при проведении строительства необходимо проверить наличие расчета затрат на обеспечение требуемого уровня качества и соответствие его данным результатам в программе качества. В случае несоответствия данных показателей необходимо сообщить об этом заказчику и решить вопрос финансового обеспечения требуемого уровня качества строительства.

Программы качества разрабатывает руководящий работник организации, который учитывает функции управления руководителя организации и руководителя службы качества. При этом ответственность за составление программы качества возлагается на руководителя службы качества, а составление бизнес-плана на генерального директора или руководитель организации.

Оперативное управление качеством в организации осуществляют руководители всех подразделений и отделов организации или ответственные за качество работы своей службы или подразделения. Они осуществляют готовность производства, служб и средств предприятия на внедре-

ние систем качества в организации, а также контроль над его эксплуатацией [4].

Для правильного создания бизнес плана необходимо оценивать эффективность системы качества с экономической точки зрения. В организации необходимо разработать процедуры финансовой отчетности, отражающие затраты на обеспечение качества и влияние качества на прибыль.

Однако, влияние качества на прибыль невозможно оценить без технико-экономического обоснования выполнения строительно-монтажных работ. При этом для определения потерь от низкого качества желательно применять метод калькуляции затрат на производство работ.

Уровень качества, конкурентоспособные цены и другие данные, необходимые для создания бизнес-плана, определяются в процессе маркетинга, заключающиеся в следующем:

- определить потребность в определенных видах строительных объектов на перспективу;
- определять уровень спроса и предложения в области производства работ при строительстве определенных объектов;
- определить требования потребителей;
- непрерывное поступление информации о претензиях потребителя к качеству строительства;
- анализ договоров.

В целом необходимо отметить, что процесс технико-экономического обоснования и планирование строительно-монтажных работ на строительном предприятии сложный и многогранный процесс, и умелое управление всеми техническими и экономическими вопросами поможет повысить эффективность деятельности строительных компаний.

Таким образом, изучение основ технико-экономического обоснования проектов производства и организации строительных и монтажных работ, а также разработка рекомендаций по повышению эффективности деятельности предприятия является актуальной. При этом для выполнения задач технико-экономического обоснования строительства необходимо развитие логически и экономически значимых направлений повышения комплексной эффективности строительно-монтажных работ на территории исследуемого экономического субъекта на основе обобщения и экстраполяции передового опыта в этой области в сочетании с анализом конкурентной ситуации на рынках функционирования строительных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Овсянникова Т.Ю. Экономика строительного комплекса: Учебное пособие. Экономическое обоснование и реализация инвестиционных проектов – Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. – 239 с.
- [2] Хадонов З.М. «Организация, планирование и управление строительным производством. Часть 1. Организация строительного производства» - Ассоциации строительных вузов, 2009г.
- [3] Хадонов З.М. «Организация, планирование и управление строительным производством. Часть 2. Планирование и управление строительным производством» - Ассоциации строительных вузов, 2009г.
- [4] "Экономики и управления в строительстве" Московского гос. открытого ун-та, С.И. Абрамов Под ред. И.С. Степанова, Изд-во М.Юрайт-Издат, 2005, 524 с.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Й.Х. Арельяно Мартинес, аспирант

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский Университет Дружбы Народов
Ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 117923

В статье анализируется понятие человеческого таланта, а также освещаются наиболее важные виды деятельности, цели и задачи, с тем, чтобы установить, как велико влияние организационного климата. При этом в статье рассматриваются человеческие таланты как самые ценные активы компании, относящиеся к его развитию, как к конкурентному преимуществу, а также рассматриваются в качестве краеугольного камня изменений и улучшений.

Ключевые слова: модель, управление персоналом, человеческими ресурсами, бизнес.

В настоящее время существуют различные механизмы, которые вносят свой вклад в новые задачи управления талантами, среди которых можно упомянуть: экономические, технологические, социальные, культурные, правовые, политические, демографические и экологические, действующие совместно, последовательно и динамично, с целью достижения невообразимых результатов, которые видятся непредсказуемыми и неопределенными в организации.

Успешные организации имеют тенденцию расти или, как минимум, выживать. Рост и развитие предприятия требуют более сложных ресурсов, необходимых для выполнения операций, таких, как увеличение ка-

питала, улучшение технологий, деятельность, оказания помощи и т.д. Кроме этого требуется увеличения числа людей и создается необходимость активизировать применение знаний, умений и навыков, необходимых для поддержания конкурентоспособности бизнеса. При этом гарантируется, что материальные, финансовые и технологические ресурсы используются эффективно и люди сохраняют конкурентоспособность, которая поддерживает организацию и способствует ее успеху.

С целью мобилизации и задействования людей во всей их профессиональной полноте, организации постоянно меняют тактику менеджмента. Вместо того, чтобы инвестировать непосредственно в продукты и услуги, они инвестируют в развитие знаний у работников, которые понимают и знают, как создавать, развивать, производить и улучшать производительность.

В этом смысле, с увеличением конкуренции на рынке повышаются требования к рабочим. Они должны быть высококвалифицированными и соответствовать определенным стандартам.

Итак, модель управления персоналом должна осуществляться в соответствии с потребностями компании, и признать, что в бизнесе талант человека - это ключ к достижению поставленных целей.

Персонал организации — это совокупность людей, на которую производится целенаправленное воздействие для достижения поставленных организацией целей и задач [2, С. 5].

Исходя из концепции организации персонала, можно проанализировать также различные значения термина «человеческие ресурсы и управление людьми». Отдел кадров понимается как оперативное подразделение и предлагаемые им услуги в области найма, отбора, подготовки, оплаты, льгот, связи, здравоохранения и безопасности труда и др. Практические человеческие ресурсы относятся к тому, как компания проводит все указанные выше операции. Человеческие ресурсы как профессия - одно из самых важных понятий, так как оно относится к профессионалам, которые работают полный рабочий день на должности, непосредственно связанной с человеческими ресурсами, включая тренеров, инструкторов, администраторов, инженеров по технике безопасности, врачей и т.д.

Управление персоналом признается одной из наиболее важных сфер жизни предприятия, способной многократно повысить ее эффективность, а само понятие «управление персоналом» рассматривается в достаточно широком диапазоне: от экономико-статистического до философско-психологического. [3, С. 5]. Мероприятия по повышению эффективности управления персоналом сопровождаются такими процессами компании, как: подбор, наем, развитие и использование кадров, поэтому, при выполнении этих функций в надлежащем порядке, можно добиться выдающихся результатов.

В рамках этих процессов проходят важные мероприятия по повышению эффективности управления персоналом, среди которых следует выделить планирование, которое заключается в прогнозировании будущих потребностей персонала в соответствии с планами компании. Развитие через обучение, распределение стимулов или оздоровительные программы. Оценка результатов деятельности людей и проверка их вклада и значения для предприятия. Компенсация за работу, а также предоставление трудовых и социальных преимуществ.

Применение оценок, проверок и осмотров для оценки результативности, и эффективности управления персоналом, а также управления информацией о персонале.

В самом общем виде управленческую деятельность можно определить как набор (совокупность, в развитом состоянии – систему) выработанных историческим опытом, научным познанием и талантом людей навыков, умений, способов и средств целесообразных поступков и действий людей в сфере управления [1, С.147].

Кроме того, организация в дополнение к выполнению определенных видов деятельности, должны соответствовать ключевым целям успеха, среди которых можно упомянуть четыре: социальной, корпоративной, функциональной и личной.

Социальные задачи. Предприятие должно осуществлять свои функции в соответствии с определенными принципами этики и социальной ответственности, т.е. не допускать дискриминационной политики в отношении пола, расы, религии, культурной группы и т.д.

Корпоративные цели. Организация должна иметь в виду, что ее деятельность не является самоцелью, а только инструмент для достижения целей и решения задач.

Функциональные задачи. Эффективность управлением персоналом должно сохранять положение таким образом, чтобы потребности компании были удовлетворены.

Личные цели. В управлении персоналом, важно, чтобы достижение личных целей каждого сотрудника были совместимы с целями организации.

В основном, общей целью управления персоналом является правильная интеграция стратегии, структуры, системы работы и людей, с целью обеспечения лицам развертывания всех своих навыков и способностей, чтобы достичь эффективности и конкурентоспособности организации. В итоге нужно добиться максимальной производительности в удобном рабочем климате. Для достижения высоких показателей производительности труда и достижения цели необходимо решить следующие задачи:

— помощь организации достичь своих целей и выполнить свою миссию.

- обеспечение конкурентоспособности организации.
- обеспечение организации хорошо обученными и мотивированными сотрудниками.
- возможность самореализации и удовлетворенность сотрудников.
- развитие и поддержание качества жизни на работе.
- управление изменениями.
- создание этической политики и развитие социально-ответственного поведения.

При этом, для достижения вышеперечисленных задач управления персоналом необходимо выполнять следующие наиболее важные процессы: допуск лиц, компенсации лицам, развитие, мониторинг.

Допуск лиц. Сюда входит привлечение, отбор, найм, назначение компетентного и заинтересованного персонала.

Компенсации лицам. Охватывает проектирование структуры заработной платы, распределения стимулов и бонусов, распределение прибыли и дополнительных услуг.

Развитие людей. Рассмотрение разработки программ подготовки и обучения, программ продвижения и ротации кадров, а также программ интеграции и мотивации.

Мониторинг людей. Проектирование информационных систем для управления персоналом, регистрация своих личных целей. Рассмотрение документов, связанных с движением и действиями персонала, а также баз данных для аудита или управляющих воздействий.

Главная цель управления персоналом - создание условий, обеспечивающих мотивацию и удержание сотрудников, а также создание условий, в которых они будут чувствовать себя талантливыми и важными. Если сотрудник воспринимает и осознает, что является ключевым для компании, он сделает все возможное для выполнения возложенных на них задач.

Таким образом, предприятие должно иметь в наличии:

- ✓ привлекательный имидж организации.
- ✓ значительное количество преимуществ, финансовая стабильность и хорошие условия труда.
- ✓ поощрения сотрудников с творческим мышлением и талантами.
- ✓ разработанная модель компетенций в соответствии с данной компанией.
- ✓ назначение должностей работ согласно академической подготовке.
- ✓ систематический обзор информации, связанной с управлением талантами.
- ✓ способность выявления работников с высоким потенциалом.
- ✓ осуществление механизмов мотивации

- ✓ разработка планов карьерного роста.
- ✓ сосредоточение на цели и ценных бумагах компании.
- ✓ оценивание мер управления талантами.
- ✓ создание системы определенных целей

Таким образом, для того, чтобы компания могла выполнять определенную деятельность, достигать цели и решать задачи, в первую очередь, менеджеры организации должны объединять сотрудников, с целью обмена идеями, определения целей и разработки проектов. Во-вторых, следует отставить отдел кадров на второй план и решать стратегические вопросы, связанные с бизнесом и людьми, для успешного выполнения миссии

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Атаманчук, Г.В. Управление: сущность, ценность, эффективность. Учебное пособие для вузов - М: Академический проект, 2006. - 544 с. - ISBN5-8291-0671X. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=223138>
- [2] Виноградов, А.П. Система оценки персонала в организации - М. : Лаборатория книги, 2011. - 126 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=142245>
- [3] Литвина, М.И. Управление талантами: выводы делать рано, вопросов больше, чем ответов / Актуальные вопросы экономики и управления: матер. междунар. науч. конф. (г. Москва, апрель 2011 г.). Т. II. – РИОР, 2011- 62 с.

ПРЕДПРИЯТИЕ КАК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

**В.В. Умурпашаев, аспирант,
Г.М. Кутлыева, к.т.н.**

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

На современном этапе развития человечества основу экономики любой страны составляет бизнес, предпринимательская деятельность, особенно малый бизнес, одной из форм осуществления которого является индивидуальная предпринимательская деятельность гражданина в качестве индивидуального предпринимателя.

К сожалению, как и в самом начале своего развития, так и сегодня предпринимательство, а, особенно, малое и среднее предпринимательство испытывает многие трудности и остро реагирует как на развитие всей экономики страны в целом – перепады, кризисные явления, так и на действия государственных и муниципальных органов, не всегда обеспечивающих нормальные условия его существования и развития.

Подтвердим наше утверждение:

1. Рассматривая состояние важнейших ресурсных рынков России, можно прийти к заключению о том, что российский предприниматель сегодня сталкивается с отсутствием широкой информации о ресурсах, порядке и условиях доступа к ним; с недостаточной степенью конкурентности и открытости в предоставлении ресурсов; усложненностью доступа к ресурсам; с нежеланием органов исполнительной власти вовлекать ресурсы (прежде всего недвижимость) в хозяйственный оборот.

2. Что касается финансового рынка и оценки его состояния, то он нестабилен, подвержен частым изменениям процента рефинансирования, для него характерна сложность и проблемность предоставления кредитов для развития бизнеса, особенно малым и средним предпринимателям, отсутствуют государственно обеспеченные льготные кредиты.

3. Если мы рассмотрим трудовые ресурсы, то для них (особенно для доступных для предпринимательства) сегодня характерны низкая мобильность, острый дефицит (когда у специалиста не только есть диплом, но он действительно «знает и умеет») подготовленных специалистов в области маркетинга, финансов, инновационной деятельности, работающих на малый бизнес, не позволяют малому бизнесу находить и качественно обслуживать те сегменты рынка, на которых существует неудовлетворенный спрос.

Несмотря на достаточно сложные условия развития и существующие проблемы, российское предпринимательство уже начало развиваться, усложняются его формы, углубляются и расширяются виды предпринимательской деятельности, поэтому, на наш взгляд, при данном сохраняющемся направлении и определенной государственной защите, и поддержке, оно сумеет преодолеть трудности и действительно займет свое место в экономике России. Предприятие в данном контексте представляет собой активную экономическую единицу. Однако рассмотрим последовательно, учитывая специфику Российской Федерации.

Большинство стран мира сегодня имеют своей основой рыночную экономику или же смешанную (как, например, Китай). Для такой экономики характерно подразделение деятельности на:

Рыночную и нерыночную[1].

В свою очередь, рыночная деятельность подразделяется на:

1. Коммерческая (предпринимательская) деятельность - это рыночная деятельность, имеющая своей целью получение прибыли или рыночного дохода.

2. Некоммерческая деятельность - это рыночная деятельность, не имеющая своей целью получение прибыли, но результаты которой тем не менее предназначены для купли-продажи.

Объектом нашего исследования является коммерческая – или предпринимательская – деятельность.

Если мы рассмотрим современные представления о предпринимательстве – коммерческой деятельности - в науке, то необходимо отметить, что они базируются, в основном, на разработанных ранее концептуальных подходах.

В целом отметим, что существует три экономико-социологических подхода к предпринимательству [2] как осуществлению коммерческой деятельности:

1. Предпринимательство как социально-рыночная инновация;
2. Хозяйственный подход;
3. Социально-экономическое явление.

В концепции «предпринимательского общества» видный экономист П. Друкер рассматривает в качестве главного критерия предпринимательского поведения наличие предпринимательского управления, предпринимательских стратегий, как определенных методов действия на рынке. Он не видит разницы между человеком, открывающим свое дело и работающим на предприятии по найму.

В рамках второго подхода предпринимательство как деятельность инновационная более признано в науке и практике современности. Понимание предпринимательства при этом неразрывно связано с преобразующим воздействием на социальную и экономическую сферы общества посредством деятельности предпринимателя, проявляющимися в активном участии в формировании и развитии новых рыночных отношений безотносительно к целям, которые субъекты предпринимательства преследуют, и методам, которые они применяют.

Таким образом, определим предпринимателя как субъекта рыночной экономики, причем хозяйствующего субъекта, использующего то неравновесие, которое складывается объективно и чья деятельность направлена на восстановление данного неравновесия и одновременному уничтожению его собственных доходов.

Коммерческую деятельность – предпринимательство - это инициативная самостоятельная деятельность граждан, направленная на получение прибыли или личного дохода, осуществляемая от своего имени, под свою имущественную ответственность или от имени и под юридическую ответственность юридического лица [3].

В современной науке общепринятым является признание того, что предпринимательство, функционируя и осуществляя свою коммерческую деятельность, выполняет в обществе два типа функций – экономические и социальные.

Рассмотрим подробнее каждую из названных групп функций.

К экономическим функциям предпринимательства относятся:

1. Организационно-управленческая.

2. Обеспечение общества товарами и услугами, удовлетворение имеющегося спроса и создание нового.

3. Функция производства.

К социальным функциям предпринимательства относятся:

1. Создание рабочих мест, обеспечение занятости населения.

2. Оказание помощи и поддержки различным социальным слоям населения, общественной культуре, науке, образованию, спорту.

3. Развитие и упрочение среднего класса, ядром которого и является социальная группа предпринимателей.

4. Формирование в обществе традиций и культуры предпринимательства, без чего развитие нормальных рыночных отношений невозможно.

Определим также, что для российской экономики и само предпринимательство, организация им своей коммерческой деятельности, а также выполняемые им функции находятся в начальном, развивающемся состоянии, поэтому на первом плане сегодня – экономические функции предпринимательства и их реализация. В дальнейшем, с достижением определенного уровня развития и экономической устойчивости, предпринимательство будет более полно и активно реализовать свои социальные функции, как показывает опыт зарубежных стран с развитой и устойчивой рыночной экономикой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Авдеев С.В., Замедлина Е.А. Основы бизнеса. Пособие для сдачи экзамена. М.: Юрайт. 2005г. 190 стр. С. 2-6.
- [2] Гражданское право / Рассолов М.М, Алексей П.В, Кузбагаров А.Н. - М.: Проспект, 2010. - 916 с. С. 54 – 57.
- [3] Егорова Е.Н., Логинова Е.Ю. Коммерческая деятельность. Конспект лекций. М.: Эксмо. 2008г. 160 стр. С. 41 – 43.
- [4] Микробизнес управляемый своими владельцами. / Тумасова В.И. - Система ГАРАНТ. 2009. Электронный ресурс. Режим доступа: Справочно-информационная система ГАРАНТ ПЛЮС. URL: <http://www.garant.ru/>.

АУТСОРСИНГ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Н.И.Ракова, студент

Е.Р.Хамидуллина, студент

науч. руководитель – Н.Ю. Сопилко, к.э.н.

Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием

Российский университет дружбы народов

ул. Миклухо-Макляя, 6, Москва, Россия, 117198

В статье авторами приводится анализ аутсорсинга, как способа снижения затрат на предприятии. Отмечаются основные преимущества аутсорсинга и дается основная характеристика видов аутсорсинга.

Ключевые слова: аутсорсинг, снижение затрат, инсорсинг.

В настоящее время среди передовых форм хозяйствования выделяют аутсорсинг. Многие компании прибегают к нему с целью получения дополнительных эффектов. Ни одна компания не будет работать себе в убыток.

Понятие «аутсорсинг» было заимствовано из западной литературы (от англ. out - "вне" и source - "источник"). Это форма сотрудничества между предприятиями, которая основана на привлечении услуг сторонних организаций для повышения эффективности фирмы.

Многими специалистами подчеркивается ряд достоинств аутсорсинга, среди которых можно выделить следующие.

Во-первых, это выгодно тем, что компании-заказчику не приходится брать в расчет вспомогательные функции. Она занимается своими основными бизнес-процессами [1].

Во-вторых, использование аутсорсинга помогает компании в сокращении издержек. Содержание своего штата работников зачастую невыгодно для компании, потому что это не требует выплаты налогов с заработной платы и других выплат, не нужно обеспечивать рабочие места. Также выгода в том, что штатному сотруднику нужно обязательно выплачивать заработную плату вне зависимости от результата его работы, однако, сотрудник аутсорсинговой компании получает заработную плату только при эффективной работе и без авансов. Подрядчик не заинтересован в плохих работниках, так как у него есть конкуренты на своём рынке [2].

В-третьих, привлечение услуг внешней организации помогает ускорить процесс поставок и оказания услуг из-за специализированного опыта сотрудников этой компании.

В-четвертых, преимуществом использования аутсорсинга также является возможность увеличения рыночной стоимости предприятия за счет

перераспределения финансовых и трудовых ресурсов для выполнения основных бизнес-процессов [2].

Еще одним преимуществом использования аутсорсинга является снижение рисков. Часть рисков передается внешней организации. Один из примеров – это болезнь сотрудника. Аутсорсер обязан исключить простои в работе, в то время как собственному сотруднику нужно будет оплатить больничный, а сама компания потеряет время и деньги [3].

В результате, все участники процесса сосредотачивают свои усилия на профильном направлении деятельности, что способствует повышению общей результативности.

Аутсорсинг может применяться во всех сферах деятельности предприятия, начиная от бухгалтерской отчетности и заканчивая управлением персоналом. В связи с этим выделяют различные виды аутсорсинга. Одним из наиболее распространенных видов является производственно-хозяйственный аутсорсинг. Его суть заключается в передаче работ сферы обслуживания сторонним организациям (уборка помещений, обслуживание и управление транспортом, корпоративные обеды и т.д.).

Также широко распространен ИТ-аутсорсинг, который представляет собой передачу процесса разработки, проектирования и внедрения программного обеспечения внешним компаниям.

Пользуется популярностью бухгалтерский аутсорсинг, при котором выполнение различных бухгалтерских операций производится заимствованными специалистами.

В случае, когда предприятие нанимает штаб работников для участия в производственном процессе и управлении производством, следует говорить об аутсорсинге персонала.

Для снижения затрат при реализации поставок товара на предприятии используют логистический аутсорсинг [4].

В России сегодня аутсорсинг не обрел широкую популярность. В основном, его применяют лишь в некоторых видах второстепенных задач. Среди основных причин такой ситуации можно назвать недоверие предприятий к поставщикам услуг, низкий уровень качества выполняемых работ некоторых поставщиков, низкая конкуренция. Российские предприятия чаще прибегают к инсорсингу, процессу, обратному аутсорсингу, т.е. созданию собственных дочерних структур для выполнения определенных задач.

Однако, как показывает международная практика, аутсорсинг является эффективным способом снижения затрат, путем освобождения трудовых и финансовых ресурсов и перенаправления их на развитие новых направлений или улучшение уже имеющихся. В России использование аутсорсинга распространено среди крупного бизнеса и иностранных компаний. Примером такой компании может служить «Газпром», моно-

полист в нефтяной отрасли. Так, "Газпром" продал свою дочернюю компанию "Газпром бурение", когда ее финансовые показатели значительно упали. Теперь "Газпром бурение" - генеральный подрядчик "Газпрома", предоставляющий ему услуги по строительству скважин на месторождениях [5]. Также АО "Газпромбанк" пользуется услугами ООО "Аплана", которое занимается тестированием программного обеспечения. Привлечение субподрядчика к выполнению работ совместно с IT блоком помогает сократить затраты, так как используется метод оплаты по результатам (payment by results), который, в отличие от почасовой оплаты, является наиболее эффективным применительно к разработке программного обеспечения. Также, в России аутсорсинг используют такие компании как «Автолайн», Cisco, «ГУП Мосгортранс», РЖД, «Группа Автолайн» и др.

Таким образом, изучая опыт ведущих российских компаний можно сделать вывод, что внедрение в бизнес такой формы сотрудничества позволит многим компаниям повысить свой уровень конкурентоспособности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Центр управления финансами [Электронный ресурс]: <http://center-yf.ru/data/Buhgalteru/Autsorsing.php>
- [2] Сопилко Н.Ю., Лисицкая С.М., Сомова Т.Г. Международный аутсорсинг как перспективная форма производственного сотрудничества // Экономика и предпринимательство. 2013. №6(35). – С. 925-929.
- [3] ООО «КПД-Клининг» [Электронный ресурс]: <http://www.clearit.ru/articles/6/>
- [4] Компания IT-разработки АйронСофт [Электронный ресурс]: <http://ironsoft.su/>
- [5] Медиахолдинг «Эксперт» [Электронный ресурс]: <http://expert.ru/expert/2011/11/burenie--na-utsorsing/>

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

В.Б. Алексеенко¹, *к.т.н., профессор*

Р.А. Брицов¹, *аспирант*

¹ – Кафедра инженерного бизнеса и управление предприятием
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Статья посвящена проблемам инновационного развития на предприятиях Российской Федерации в условиях кризиса. Рассматривается влияние инноваций на эффективность производства. Предлагаются пути развития теории инновационного развития в Российской Федерации.

Ключевые слова: инновация, инновационное развитие, эффективность производства, кризис, антикризисный менеджмент.

Инновация является результатом инвестирования интеллектуальных решений в разработку и получение новых знаний, ранее не применявшихся идей по обновлению различных сфер жизни общества (изделия; технологии; различные сферы общественной деятельности: управление, образование, организация труда, наука, автоматизация и т.д.). Инновация подразумевает последующее внедрение, с целью получения фиксированной дополнительной ценности (прибыль, лидерство, качественное улучшение, прогресс) [4].

На всех этапах развития общества разработка и внедрение инноваций является необходимым условием для сохранения конкурентоспособности и дальнейшего развития.

В зависимости от возможности применения в условиях кризиса инновации подразделяются на два вида:

- кардинально новые решения, впервые внедряемые в производство;
- открытия, которые внедряются повторно [1].

Особенности течения современного финансового кризиса обусловили значительное ухудшение положения российской реальной экономики. Продукция подавляющего большинства отечественных компаний не соответствует стандартам, действующим на мировом рынке. Кризисные явления ведут к истощению ресурсов, оказывают негативное воздействие на потенциал компаний, отражаются практически на всех этапах производственного цикла: снабжении, производстве и реализации готовых изделий. Рост цен обуславливает снижение спроса и, как следствие, сокращение объемов производства.

Многие исследователи сходятся во мнении, что преодолеть имеющиеся в российской экономике проблемы без развития инновационного потенциала невозможно. Сделать подобный вывод позволяют многочисленные научные труды, в которых сконцентрирован передовой мировой опыт.

В последнее время термин «инновации» все чаще применяется в работах российских и западных авторов в целях описания типа экономического развития, при котором ключевым источником роста становятся результаты научной деятельности. Данное понятие может использоваться применительно к глобальным, а также локальным постепенным изменениям в стратегии компаний, технологических и маркетинговых процессах, производимой продукции.

Инновации являются локомотивом экономики, их задача состоит в создании новых возможностей для глобальных экономических и об-

ществленных изменений. Они содействуют:

- оптимизации хозяйственной структуры;
- пересмотру условий работы компании;
- поиску обновленных форм организации производства;
- внедрению более совершенного технологического оборудования;
- росту конкурентоспособности;
- повышению эффективности деятельности;
- развитию процессов диверсификации;
- экономии ресурсов;
- использованию модифицированных алгоритмов хозяйствования;
- установлению господства наукоемких рыночных сегментов;
- принятию мер по сглаживанию циклических колебаний в функционировании субъектов предпринимательства;
- реальному улучшению качества жизни.

На уровне отдельных субъектов предпринимательства развитие их инновационного потенциала может быть отождествлено с ростом предприимчивости, инициативности, внимания к новым технологическим и научным возможностям.

Инновационная деятельность становится одним из рычагов антикризисного менеджмента. Управление инновационной деятельностью субъектов предпринимательства в условиях кризиса представляет собой организационное воздействие на данную деятельность со стороны руководства субъектов. Это воздействие осуществляется при помощи специальных мер, обеспечивающих восстановление, сохранение, укрепление конкурентоспособности компании в кризисных условиях.

Как показывает российский опыт, пока инновационное развитие оказывает слабое воздействие на экономику. Восприимчивость предпринимательской среды к новшествам, особенно требующим инвестиций, остается крайне низкой [2]. К тому же, в условиях кризиса субъекты предпринимательства стремятся минимизировать специфические явления, присущие инновационной деятельности, включая такие из них, как:

- неопределенность и отложенность результатов;
- несовпадение индивидуального и социального эффектов;
- высокий уровень инвестиционных рисков.

В настоящее время это обуславливает низкую инновационную активность, характерную для всех секторов рынка, типов компаний и видов инноваций (маркетинговых, технологических, организационных).

Опыт ведущих мировых компаний позволяет сделать два вывода:

- решение проблем российских предприятий возможно только при условии их адекватного инновационного развития;
- даже в условиях кризиса инновации являются неизбежными и

управляемыми.

Исследования, проведенные рядом отечественных и зарубежных специалистов, позволяют выявить положительное воздействие кризисных явлений на экономику. В частности, оно проявляется:

- в возможности адаптации субъектов к изменяющимся условиям хозяйствования с минимальными издержками;
- в повышении объемов свободных высококвалифицированных трудовых ресурсов на рынке;
- в росте производительности труда;
- в совершенствовании организационной структуры;
- в улучшении имиджа рыночных субъектов;
- в укреплении взаимосвязей между контрагентами;
- в сохранении финансовых результатов деятельности;
- в ожесточении конкурентной борьбы;
- в создании новых межрегиональных связей;
- в переходе от экспорта ТЭР к формированию высокотехнологичных обрабатывающих компаний.

Могут быть выделены следующие принципы управления инновационной деятельностью субъекта предпринимательства в кризисные периоды:

- нацеленность на достижение успеха;
- полнота реагирования на проявления кризиса, что предусматривает использование всего комплекса внутренних ресурсов для вывода компании из кризисного состояния;
- адекватность реагирования на проявления кризиса с учетом выполненного анализа реальности угрозы финансовому и рыночному равновесию компании;
- срочность реагирования на проявления кризиса. Кризисные события имеют свойство расширяться с наступлением очередного хозяйственного цикла и порождать новые негативные явления. Это означает, что оперативное использование антикризисных мер создает дополнительный потенциал для восстановления деятельности компании.

Перед современным научным сообществом встают задачи создания глубоко проработанной теории инновационного развития, позволяющей:

- решать стратегические и оперативные задачи субъектов предпринимательства;
- изучать процессы и закономерности развития инноваций;
- оказывать целенаправленное воздействие на рост конкурентоспособности;
- эффективно выявлять внутренние резервы субъектов;

- совершенствовать системы управления;
- осуществлять длительные, высокоэффективные и растущие инвестиции в такие области, как образование, научные исследования, развитие информационных систем и инфраструктурных объектов;
- вовлекать в деловой оборот получаемые знания;
- регулировать инновационную деятельность в комплексном режиме (с обеспечением оптимального соотношения мер прямого регулирования (например, бюджетных субсидий) и системы стимулов);
- усиливать механизмы управления инвестиционными региональными средами;
- достоверно прогнозировать и оперативно реагировать на развивающиеся кризисные явления.

Несмотря на множество научных интерпретаций проблематики, связанной с управлением инновационной деятельностью, не в полной мере исследованным остается ряд вопросов. Речь идет, в частности, об интеграции механизмов управления инновационной деятельностью в контексте стратегий развития отечественных субъектов предпринимательства [5].

Организация эффективного управления инновационной деятельностью позволяет гарантировать успех в конкурентной борьбе, усилить рыночные позиции как отдельно взятых компаний, так и экономики в целом. Достижение этих целей требует использования современных итерационно-адаптивных методик, а также обобщения опыта предприятий, которые успешно действуют на мировом рынке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Демчук М.И., Юркевич А.Т. Системная методология инновационной деятельности. Минск: РИВЦ, 2007. 313 с.
- [2] Жданова О. А. Роль инноваций в современной экономике [Текст] / О. А. Жданова // Экономика, управление, финансы: материалы междунар. науч. конф. (г. Пермь, июнь 2011 г.). — Пермь: Меркурий, 2011. — С. 38-40.
- [3] Камалов Рустам Камирович. Управление инновационной деятельностью предприятий в условиях кризиса: диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.05 / Уфа, 2010.
- [4] Клайтон М. Кристенсен, Майкл Е. Рейнор. Решение проблемы инноваций в бизнесе. — М.: Альпина Паблишер, 2014. — С. 78-95.
- [5] Пахонина Е.В. Инновационные ориентиры постиндустриального общества // Теория и практика общественного развития. 2012. № 12. С. 36-40.
- [6] Madgett P., Belanger C.H., Mount J. Clusters, Innovation and Tertiary Education // Tertiary Education and Management. — 2005. — Vol. 11, № 4. — P. 317–329.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

М.Нуров¹, аспирант

1 – Кафедра инженерного бизнеса и управления предприятием
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

Статья посвящена вопросам управления предприятием в автомобильной отрасли. Проанализирован текущий подход к управлению, обоснована необходимость модернизации системы управления, предложены направления совершенствования системы, сформированные на основе мировой практики управления в отрасли.

Ключевые слова: управление, автомобильная промышленность, восстановление, модернизация, кадровый потенциал.

Автомобильная промышленность ведущая отрасль национального хозяйства, играющая значительную роль в социально-экономическом и научно-техническом развитии страны. В развитых странах автомобильная промышленность входит в число ключевых отраслей производства по обороту денежных средств и объему экспортных продаж, она аккумулирует большую часть всех финансов в промышленности, инвестиций и затрат на научные исследования, связана тесными производственными и кооперационными связями с более чем 40 отраслями экономики. Согласно подсчетам экспертов, в мировом масштабе 1% роста в автомобильной промышленности обеспечивает до 2% роста ВВП страны [3].

Вместе с тем автомобильная промышленность может быть отнесена к проблемным отраслям России. По целому ряду моделей она не может удовлетворить спрос населения и экономики на автомобили в количественном отношении весьма высоким остается уровень претензий потребителей и к качеству продукции. В этой связи существуют различные позиции относительно будущего российской автомобильной промышленности. В частности, имеется достаточное количество экспертов, полагающих, что в нынешнем виде, с существующим качеством производства и уровнем обслуживания автомобильная промышленность не может выдержать конкуренции с иностранными компаниями.

Важность данной отрасли для экономики в тактическом и стратегическом аспектах предопределяет значимость и актуальность исследований факторов и конкретных механизмов управления предприятиями автомобильной отрасли, позволяющих не только обеспечить конкурентоспособность российской автомобильной промышленности на внутреннем рынке, но и отвоевывать ей значительные сегменты мирового рынка автомобилей [1,5]. С учетом современных мировых тенденций развития мировой автомобильной индустрии представляется необходимым особо акцентировать внимание на изучении инновационной деятельности предприятий автомобилестроения как ключевом факторе повышения их кон-

курентоспособности

Восстановление и модернизация национальной автомобильной промышленности невозможна без локализации интеллектуальной собственности по основным конструктивным элементам автомобиля и процессам его производства. Приобретение интеллектуальной собственности за рубежом не решает проблему комплексно, а наоборот образует зависимость национальных и совместных с российским участием производителей автомобильной техники от иностранных партнеров. Решить проблему возможно только планомерной организацией прикладных и фундаментальных НИОКР на территории России с привлечением собственных специалистов.

Все вышеперечисленные слабые стороны порождают замкнутый порочный круг проблем автомобилестроения: изношенные фонды – низкое качество выпускаемой продукции – низкая конкурентоспособность – низкие объемы продаж – недостаточные обороты по финансам – нехватка денежных средств на обновление оборудования. И как следствие, отсутствие возможностей не только для инноваций, но и для сохранения темпов роста производства на достаточно высоком уровне.

Кадровый потенциал, сложившийся к настоящему времени в автомобильной отрасли, требует реструктуризации и пополнения молодыми специалистами, инженерными и научными работниками по специальностям, востребованным отраслью.

В настоящее время персонал научно-технических центров и конструкторских бюро заводов, представители рабочих специальностей, в кризисной ситуации оказались в условиях сокращения.

С одной стороны, требуется приток управленческого и производственного персонала, адаптированного к новым реалиям ведения автомобильного бизнеса. С другой стороны, реструктуризация и модернизация автомобильных производств неизбежно приведет к дальнейшему сокращению занятости в автомобильной отрасли и к связанному с этого росту социальной напряженности в отдельных регионах.

Сегодня достаточно остро стоят вопросы качества подготовки специалистов. Среднее профессиональное и среднее специальное образование оторвано от производства. Учебно-материальная база этих образовательных учреждений не отвечает современным требованиям. Автомобильные кафедры в университетах страны выпускают значительное количество специалистов, не востребованных на рынке труда, уровень доходов на предприятиях автомобильной промышленности и престижность профессии не способствуют их трудоустройству по специальности.

Для подготовки высококлассных специалистов, которые в состоянии квалифицированно решать возлагаемые задачи по разработке и производству современной и перспективной продукции, требуется их обучение

по многоуровневой программе высшего образования, включающей хорошую фундаментальную подготовку, достаточные навыки профессиональной работы во время производственной, конструкторской, технологической и преддипломной практики.

Необходима разработка требований к новым современным профессиональным стандартам (квалификационным требованиям) [2,4] по должностям и профессиям работающих в автомобильной отрасли, нормативной учебно-программной документации для государственных образовательных стандартов профессионального образования нового поколения, а также формирования скоординированных с предприятиями отрасли программ целевой подготовки и переподготовки кадров. **Управление автомобильной отраслью** следует подчинить функционально ориентированному плану:

1. Определение управляющей вертикально интегрированной структуры.
2. Маркетинговый анализ: рынок, состояние отрасли, положение субъектов отрасли на рынке, альтернативная стоимость осуществляемых видов бизнеса, стратегия управления.
3. Разработка и принятие стратегии развития отрасли как вектора целей.
4. Разработка и утверждение бизнес-плана развития отрасли.
5. Решение кадровых вопросов, иных базовых стандартов деятельности управляющей структуры.
6. Оглашение принятой стратегии.
7. Отладка операционной системы.
8. Оперативное управление

Предприятиям отрасли нужно принимать меры, стимулирующих организацию и расширение выпуска автомобильной техники и автокомпонентов, переоснащение действующих отечественных предприятий, создание новых перспективных модельных рядов автомобильной техники, создание новых производств, кардинальное обновление научно-исследовательской базы и проведение НИОКР по созданию опережающих конструкций автомобилей и компонентов, повышение доли высокотехнологичных и наукоемких производств по выпуску автомобильных компонентов нового поколения должно обеспечить удовлетворение потребности страны в автомобильной технике. И только реализация поставленных амбициозных задач интенсивного развития автомобильной промышленности России позволит ей не только выжить, но и перейти от удовлетворения потребностей растущего внутреннего спроса к экспортной экспансии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Погребняк Е.В., Белоусов А.Р., Автомобильная промышленность России:

состояние и перспективы. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2002. - 147 с.

[2] Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф., Основы менеджмента. Перевод с англ. М.: Дело, 1992. – 702с.

[3] Троцик А.В. Конкурентоспособность автомобильных предприятий в условиях развития глобальной экономики. Краснодар: Кубанский гос. университет, 2004. - 3,7 п.л

[4] Туревский И.С. Экономика отрасли. Автомобильный транспорт – учебник-м.:ИНФРА-М.2011.- 297с

[5] Экономика автомобильного транспорта : учебное пособие / И.Н. Лавриков, Н.В. Пеньшин; под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. И.А. Минакова. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, Тамбов. – 2011. – 116 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-1005-6.

Секция – 12
Нано-, био-, информационные и когнитивные технологии

**СТАРЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОМ НИЗКОИНТЕНСИВНОМ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-
ЛУЧАМИ**

В.Д. Попов, д.т.н.
Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Представлены экспериментальные данные и дается прогноз изменения плотности поверхностных дефектов при разных мощностях дозы ионизирующего излучения.

Под «старением» полупроводниковых приборов и интегральных микросхем подразумевается процесс постепенного ухудшения параметров этих изделий. При использовании микросхем в условиях длительного низкоинтенсивного облучения радиационное воздействие ускоряет процесс «старения». Процесс «старения» в данном случае обусловлен образованием дефектов на поверхности раздела кремний – оксид кремния ($Si-SiO_2$) [1].

Поскольку в наземных условиях реализовать низкоинтенсивное воздействие потока протонов и электронов на микросхемы не удастся, проводят моделирующие испытания с применением изотопных источников ионизирующих излучений. Обычно в качестве таких источников используют изотопы Co^{60} и Cs^{137} . Установки с этими источниками ионизирующего излучения позволяют осуществить длительное облучение с низкой мощностью дозы P .

В настоящее время интегральные микросхемы, построенные на МОП транзисторах с n -каналом и p -каналом, получили наиболее широкое применение в аппаратуре. Благодаря таким свойствам как высокая помехоустойчивость и низкое токопотребление при хорошем быстродействии эти МОП интегральные микросхемы (ИМС) получили название «комплементарные» КМОП ИМС.

При проведении экспериментального исследования процесса «старения» КМОП ИМС в работе [2] было получено наличие двух этапов «старения» при мощности дозы гамма-излучения $P = 0,1$ рад/с. Кроме того, в этой работе предложен «надежностный» подход к анализу радиационных

эффектов: процесс рассматривается во времени t при мощности дозы P . В этом случае доза $D = P \cdot t$ является интегральной мерой воздействия ионизирующего излучения. При таком подходе экспериментальные данные по изменению времени считывания КМОП микросхемы памяти можно представить в виде, показанном на рис.1. Как можно видеть наличие двух этапов процесса старения.

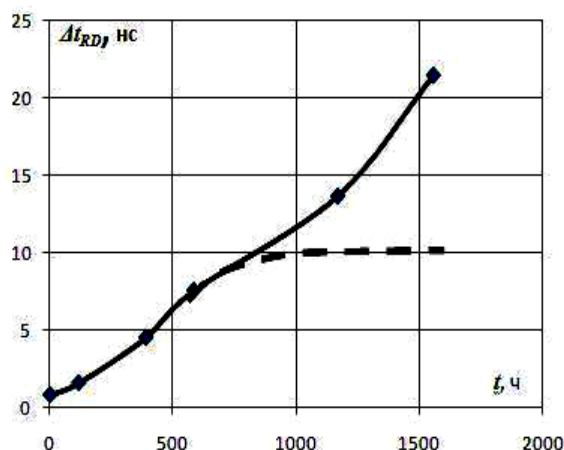


Рис.1. Изменение времени считывания КМОП ИМС памяти при мощности дозы гамма-облучения $P = 0,2$ рад/с.

Целью данной работы являлось исследование процесса старения КМОП ИМС при длительном низкоинтенсивном облучении гамма-лучами с мощностью дозы $P = 1,0$ рад/с и сравнение с результатами облучения при мощности дозы $P = 0,1$ рад/с, опубликованными в [2].

Описание и результаты эксперимента. Облучение КМОП ИМС производилось в вертикальном сухом канале, установленном в бассейне шахты-хранилище реактора МИФИ. Источником ионизирующего излучения являлся изотоп Cs^{137} . Мощность дозы P устанавливалась путем изменения высоты местоположения образцов КМОП ИМС над изотопным источником. Эксперименты проводились без подачи электрического режима (в пассивном режиме) при мощностях дозы $P = 0,1$ рад/с и $P = 1,0$ рад/с. Облучение осуществлялось поэтапно. До и после каждого этапа облучения проводились измерения Вольт-Амперных характеристик (ВАХ) логических элементов 2ИЛИ-НЕ в широком диапазоне токов стоков МОП транзисторов. Для измерений ВАХ элементов КМОП ИМС использовался анализатор полупроводниковых приборов Agilent Technologies B1500A. Для анализа ВАХ использовался метод подпороговых то-

ков [3], который дает возможность определять плотность заряженных поверхностных дефектов (*interface traps*) N_{it} на границе раздела $Si-SiO_2$.

Результаты расчетов плотности поверхностных дефектов N_{it} по измеренным ВАХ КМОП ИМС представлены на рис.2, на котором показаны результаты, полученные при мощности дозы $P = 0,1$ рад/с и при мощности дозы $P = 1,0$ рад/с. Как можно видеть, в обоих случаях наблюдались два этапа дефектообразования у поверхности $Si-SiO_2$.

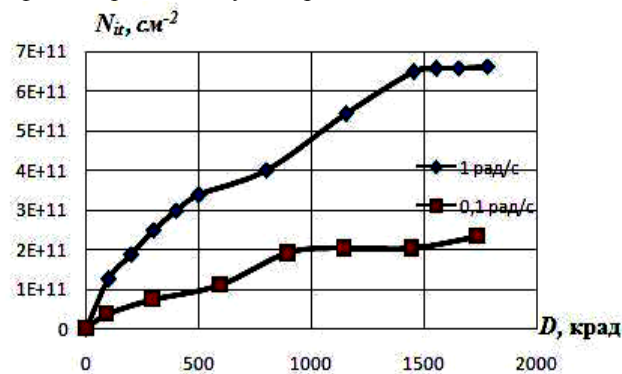


Рис.2. Результаты измерений ВАХ транзисторов после облучения при $P = 0,1$ рад/с и $P = 1,0$ рад/с

Обсуждение результатов. Обработка результатов измерений плотности поверхностных дефектов N_{it} с использованием программы Origin Pro 8.1 показала, что оба этапа «старения» хорошо описываются экспоненциальными зависимостями. В этом случае получаем выражение вида

$$N_{it}(P, t) = N_{it, \text{H1}}[1 - \exp(-\alpha_1 Pt)] + N_{it, \text{H2}}[1 - \exp(-\alpha_2 Pt)],$$

в котором

$$N_{it, \text{H1}} = 8,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}, \quad \alpha_1 = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

$$N_{it, \text{H2}} = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}, \quad \alpha_2 = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Используя приведенные выше данные, можно выполнить расчет для любой мощности дозы гамма-излучения. Результаты расчета и измерений приведены на рис.3.

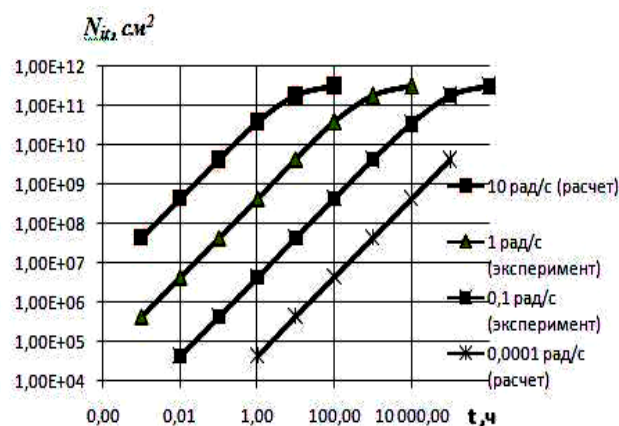


Рис.3. Изменение плотности поверхностных дефектов во времени при различных мощностях дозы

Данная работа показала, что как при высоких мощностях дозы ионизирующего излучения, так и при низких интенсивностях облучения оба этапа поверхностного дефектообразования практически сливаются. Так как радиационные испытания КМОП ИМС обычно проводятся при мощностях дозы в пределах от 100 до 10 рад/с, а в реальных условиях эксплуатации (например, в космическом пространстве) на несколько порядков ниже. Поэтому «дозовый» подход не отражает процесса «старения», приводящего к отказу. В случае низких мощностей дозы срок нормального функционирования КМОП ИМС значительно увеличивается.

Автор выражает благодарность доценту Никифоровой М.Ю. и аспиранту Власову Р.В. за помощь в подготовке доклада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Implementing OML for radiation hardness assurance./ P.S.Winokur, F.W.Sexton, D.M/Fleetwood, M.D.Terry, M.R.Shaneyfelt, P.V.Dressendorfer, J.R.Schwank.//IEEE Trans.on Nucl.Sci 1990. Vol. NS-37. No 3. P. 1794-1798.
- [2] Попов В.Д., Чжо Ко Вин. Радиационно-стимулированное старение интегральных микросхем.//Вопросы атомной науки и техники. Сер.Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2012.вып.3. С.17-19.
- [3] McWhorter P.J., Winokur P.S. Simple technique for separating the effects of interface traps and charge metal-oxide-semiconductor transistors.//J. Appl. Lett. 1986. Vol.48. No 1. P. 133-135.

**О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ СОЗДАНИЯ
ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ
РЕАКЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ**

Э.И. Никельшпарг

М.Л. Степанов

П.М. Красильников, к.ф.-м.н.

Кафедра биофизики биологического факультета
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
ул. Ленинские горы, д.1/12, Москва, Россия, 119992

Разработка устройств фотовольтаики на основе фотосинтетических реакционных центров (РЦ) является перспективным направлением в области нанотехнологий и энергетики. Однако конструирование подобных устройств сопряжено с рядом трудностей. В настоящем обзоре делается акцент на организации молекулярного контакта между РЦ и электродами. Рассмотрены различные структуры молекулярных проводов, показаны их преимущества и недостатки. Выделены аспекты, требующие более детального изучения: способы контактов молекул с поверхностью металлических электродов; влияние колебаний на процесс электронного переноса; зависимость проводимости от числа контактирующих молекул.

Одним из стремительно развивающихся направлений альтернативной энергетики является фотовольтаика – преобразование солнечной энергии в электрическую. Реакционный центр (РЦ) бактерий и растений является природным фотовольтаическим устройством с высоким КПД. Наиболее изучен РЦ пурпурных бактерий *Rhodobacter sphaeroides* (рис. 1). Он образован мембранным белком с системой кофакторов. Белок состоит из трех субъединиц: Н (heavy), М (medium) и L (light). М и L субъединицы представляют собой каркас с закрепленными кофакторами, образующими две симметричные ветви, индексируемые А и В. Н-субъединица обращена внутрь клетки и является связующим звеном для остальных субъединиц и кофакторов.

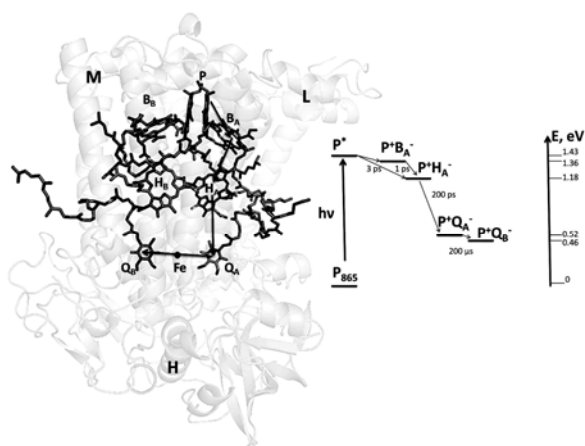


Рис. 1. Слева показано строение белково-пигментного комплекса *Rb. sphaeroides*. Темно-серым цветом показана система кофакторов, стрелками обозначен путь электронного переноса. Наиболее близко к внешней стороне мембраны расположен димер бактериохлорофилла (P), который при возбуждении квантом света донирует электрон на бактериохлорофилл B_L, после чего электрон переносится на феофетин H_L, а затем – на первичный хинон Q_A. Вторичный хинон Q_B, является финальным акцептором электронов в РЦ. Между Q_A и Q_B в координационной сфере из четырех остатков гистидина и одной глутаминовой кислоты связан ион Fe²⁺ [1]. Светло-серым цветом изображен белок с L, M и H-субъединицами. Справа – энергетическая схема переноса электрона с указанием характерных времен.

Проблемы создания фотовольтаических устройств. При создании фотовольтаических устройств на основе природных фотосинтетических РЦ необходимо решить следующие задачи: обеспечить, чтобы РЦ были живые, устойчивые и одинаково ориентированные; добиться эффективного поглощения света; организовать эффективную передачу заряда с РЦ на электрод. Для увеличения эффективности поглощения существуют следующие подходы: использование квантовых точек [2]; использование плазмонного резонанса для увеличения эффективности поглощения при помещении РЦ вблизи наночастиц золота или серебра [3]; создание многослойных пленок с РЦ [4]. Здесь существуют различные варианты технических решений:

1) Адсорбция РЦ на электродах. Например, в работе [5] РЦ помещали внутрь электрода, состоящего из углеродных нанотрубок (УНТ). Это позволяло обеспечивать единообразную ориентацию РЦ внутри электрода,

высокую эффективность поглощения и возможность напрямую передавать электроны на электрод.

2) Электрохимическая ячейка. В работе [6] предлагается использование медиаторов – переносчиков электрона между катодом, РЦ и анодом в качестве электролита. Это решает проблему эффективного поглощения света, которое зависит от концентрации РЦ в растворе.

3) Создание твердых (сухих) фотоэлементов на основе РЦ, что представляет наибольший интерес. В этом случае сталкиваются с двумя проблемами: во-первых, экспонирование и ориентация РЦ в нативном состоянии на твердую поверхность и, во-вторых, организация молекулярного контакта между РЦ и электродами [7]. Для решения первой проблемы существует два основных подхода: технологии переноса пленок Ленгмюра на поверхность твердой подложки и самоорганизация пленок на твердой поверхности заряженных функционализированных полимеров или стекла. [4].

Вторая проблема носит гораздо более существенный характер. Как правило, в модельных системах изучают молекулярные провода, связанные с металлическим (чаще всего золотым) электродом посредством т.н. якорной группы (рис. 2А): Au-молекула-Au. Выделяют несколько основных направлений, требующих изучения: (1) различные способы контактов молекул с поверхностью металлических электродов; (2) влияние колебаний и конформационной подвижности молекул на процесс электронного переноса; (3) изменение проводимости при переходе от контакта, образованного одной молекулой, к контакту, образованному несколькими молекулами с поверхностью [7].

Приведем несколько примеров молекулярных проводов: каротиноиды, фуллерены, олигоены и др.

1) Каротиноиды — природные изопреноидные пигменты, богатые двойными связями, зачастую с замкнутыми в циклы концами. Двойные связи образуют π -сопряженную систему, что приводит к значительно большей проводимости одиночных молекул каротиноидов по сравнению с насыщенными углеводородами аналогичной длины, что вместе с линейным строением делает их перспективными нанопроводами [8]. Каротиноиды в биологических системах являются акцепторами электронов. В диапазоне ± 1 В молекулы каротиноидов обладают высоким сопротивлением $4,2 \pm 0,7$ ГОм [9]. Одной из основных проблем нанопроводов из каротиноидов является их нестабильность при нагревании и склонность к окислению, в том числе электрохимическому, что решается химической модификацией молекул — присоединением фенильных групп с заместителями в кольце [10]. Проводимость одиночных молекул каротиноидов зависит от их длины, количества двойных связей и заместителей в присоединенных функциональных группах. Так, проводимость каротиноидов

с 7; 9 и 11 двойными связями составляет 0,66; 0,23 и 0,12 нСм, соответственно [8]. При замене заместителя происходит перераспределение электронной плотности молекул и сближение низшей вакантной молекулярной орбитали (НВМО) каротиноида с уровнем Ферми золота, что приводит к многократному увеличению проводимости [10].

2) Фуллерены (C_{60} и др.) являются перспективным полупроводниковым материалом, пригодным для создания наноконструкций и обладающим высокой устойчивостью к окислению [7]. Они являются сильными акцепторами электронов. Так же стоит отметить широкие возможности химической модификации фуллеренов и их способность к образованию протяженных структур, что делает удобным использование C_{60} в качестве нанопроводников (рис. 2В) [11]. Вышеперечисленное так же относится к УНТ. Связывание акцептора с донором электронов может осуществляться при помощи ковалентных, водородных, координационных связей, электростатических и π - π взаимодействий [7].

3) Одними из самых перспективных кандидатов на роль молекулярных проводов являются олигоены – линейные органические молекулы с сопряженными тройными углеродными связями, не содержащие арильных групп и не способные к пространственной изомерии. Более того, олигоены являются удобными модельными объектами для решения сложной теоретической и экспериментальной задачи организации молекулярных контактов между РЦ и электродами.

Например, в работе [12] изучалась взаимосвязь проводимости (G) с длиной молекулы и типом контакта (якорной группой) молекулы с электродом. Проводимость рассчитывается из вольт-амперной характеристики по формуле: $G = \partial I(V)/\partial V$, где I – ток, возникающий при приложении напряжения V . Авторы [12] впервые провели измерения проводимости молекулярных контактов на каждом этапе удлинения связи Au-молекула-Au. Были исследованы 5 групп, с помощью которых осуществляется контакт Au-молекула (рис. 2А). Показано, что дигидробензотиафен (ВТ) обладает наиболее высокой проводимостью и энергией, необходимой для разрыва. Также была исследована зависимость проводимости от длины молекулярного провода в системе ВТ-($C\equiv C$) $_n$ -ВТ, где $n=1,2,4$. Значение максимальной проводимости снижалось при увеличении n : для $n=1$ проводимость составляла $(316 \pm 136) \cdot 10^{-5} G_0$, для $n=2$ – $(81 \pm 9) \cdot 10^{-5} G_0$, для $n=4$ – $(20 \pm 6) \cdot 10^{-5} G_0$, где $G_0=77$ мкСм – так называемая квантовая проводимость.

В работе [13] изучали взаимосвязь проводимости, геометрии молекулярных контактов и энергии разрыва с помощью атомно-силовой микроскопии в режиме измерения тока (current-sensing atomic force microscopy, CSAFM) и теории функционала плотности (density functional theory, DFT). Показано, что увеличение числа молекул в зоне контакта приводит

к увеличению проводимости и энергии разрыва. Более того, в этой работе впервые показано влияние стэкинга ароматических колец на проводимость. Объектом исследования были 6 молекул олигоенов (рис. 2 Б), с 5 различными якорными группами.

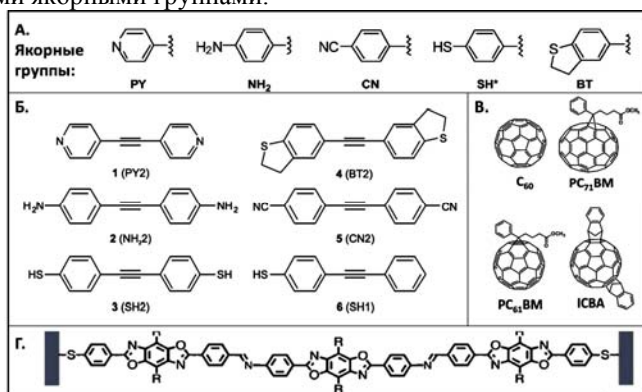


Рис. 2. Варианты молекулярных проводов. А. Якорные группы: пиридиновая группа (PY), амин (-NH₂), нитрильная группа (-CN), тиольная группа (-SH), дигидробензотиафен (BT) [14]. Б. Олигоены с различными якорными группами [13]. В. Разнообразие модификации фуллеренов [11]. Г. Молекулярный провод, синтезированный из тетрапиридила с помощью координации молекул ионом кобальта, прикрепленный к электроду SH-группой [15].

При увеличении расстояния Au-молекула (*l*) меняются геометрия молекул и проводимость (*G*). Как правило, зависимость *G(l)* имеет 2 максимума: Н – максимальная проводимость при малых *l*; L – максимальная проводимость при больших $l < l_{\text{разрыва}}$. Например, для PY2 $H = G_0 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$ при $l \leq 0,5$ нм, для BT2 $H = G_0 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ при $l \leq 0,8$ нм (при напряжении $V = 0,13$ В). Проводимость исследуемых молекул очень высока, что делает их перспективными кандидатами на роль молекулярных проводов. Одним из недостатков олигоенов является снижение стабильности при увеличении длины углеродного скелета и возможность полимеризации.

При использовании олигоенов в качестве молекулярных проводов необходимо оценивать вклад колебаний на скорость переноса электронов и вольт-амперные характеристики провода. В работе [16] изучали простейшую модель молекулярного провода – 1,3,5,7-октатетраен (C₈H₂) с помощью метода механически-управляемого разрыва связей (mechanically controlled break junction, MCBJ) и DFT. Октатетраен был зафиксирован между двумя атомами платины (II), стабилизированными трифенилфосфиновыми лигандами. Показано, что продольные колебания

молекулы влияют на проводимость. Более детальное теоретическое описание данного процесса представлено в работе [17].

Фотосинтетический РЦ выполняет основную функцию фотовольтаического устройства – эффективно разделяет заряды под действием света. Однако конструирование устройств фотовольтаики на основе РЦ требует решения ряда проблем, одной из которых является передача заряда с РЦ на металлический электрод. Для ее решения предпочтительно использовать молекулярные провода, которые могут быть различной природы (фуллерены, олигоены, каротиноиды и др.). Однако при выборе молекулярного провода необходимо учитывать влияние длины, энергии разрыва, колебаний, геометрии молекулярных контактов и типа соединения с металлическим электродом на проводимость и вольт-амперные характеристики провода.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wraight, Colin A. Proton and electron transfer in the acceptor quinone complex of photosynthetic reaction centers from *Rhodobacter Sphaeroides* // *Front. Biosci.* 2004. Vol. 9, № 1-3. P. 309.
- [2] Максимов Е.Г. и др. Фотофизические свойства гибридных комплексов из квантовых точек и реакционных центров пурпурных фотосинтетических бактерий *Rhodobacter sphaeroides*, адсорбированных на кристаллических мезопористых пленках TiO₂ // *Российские нанотехнологии.* 2013. Т. 8, № 7-8. с. 423–431.
- [3] Carmeli I. et al. Broad band enhancement of light absorption in photosystem I by metal nanoparticle antennas. // *Nano Lett.* 2010. Vol. 10, № 6. P. 2069–2074.
- [4] Zaitsev S.Y., Solovyeva D.O., Nabiev I. Thin films and assemblies of photosensitive membrane proteins and colloidal nanocrystals for engineering of hybrid materials with advanced properties. // *Adv. Colloid Interface Sci.* 2012. Vol. 183-184. P. 14–29.
- [5] Lebedev N. et al. Increasing efficiency of photoelectronic conversion by encapsulation of photosynthetic reaction center proteins in arrayed carbon nanotube electrode. // *Langmuir.* 2008. Vol. 24, № 16. P. 8871–8876.
- [6] Takshi A. et al. A Photovoltaic Device Using an Electrolyte Containing Photosynthetic Reaction Centers // *Energies.* 2010. Vol. 3, № 11. P. 1721–1727.
- [7] Красильников П.М. Термодинамические, механические и электронные свойства бимолекулярных систем. Москва: Изд-во РУДН, 2013.
- [8] Visoly-Fisher I. et al. Conductance of a biomolecular wire. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2006. Vol. 103, № 23. P. 8686–8690.

- [9] Leatherman G. et al. Carotene as a Molecular Wire: Conducting Atomic Force Microscopy // *J. Phys. Chem. B*. 1999. Vol. 103, № 20. P. 4006–4010.
- [10] Maeng J. et al. Conductance control in stabilized carotenoid wires. // *Chemistry*. 2010. Vol. 16, № 25. P. 7395–7399.
- [11] Maeyoshi Y. et al. Fullerene nanowires as a versatile platform for organic electronics. // *Sci. Rep.* 2012. Vol. 2, № 600. P. 1–6.
- [12] Moreno-García P. et al. Single-Molecule Conductance of Functionalized Oligoynes: Length Dependence and Junction Evolution // *J. Am. Chem. Soc.* 2013. Vol. 135, № 33. P. 12228–12240.
- [13] Yoshida K. et al. Correlation of breaking forces, conductances and geometries of molecular junctions. // *Sci. Rep.* 2015. Vol. 5. P. 9002.
- [14] Aradhya S. V, Venkataraman L. Single-molecule junctions beyond electronic transport // *Nat. Nanotechnol.* Nature Publishing Group, 2013. Vol. 8, № 6. P. 399–410.
- [15] Tang J. et al. Encoding molecular-wire formation within nanoscale sockets. // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2007. Vol. 46, № 21. P. 3892–3895.
- [16] Ballmann S. et al. Molecular wires in single-molecule junctions: charge transport and vibrational excitations. // *Chemphyschem a Eur. J. Chem. Phys. Phys. Chem.* 2010. Vol. 11, № 10. P. 2256–2260.
- [17] Ballmann S. et al. The role of vibrations in single-molecule charge transport: A case study of oligoynes with pyridine anchor groups // *Phys. Status Solidi*. 2013. Vol. 250, № 11. P. 2452–2457.

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

И. М. Бескровный, д.т.н.

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Эргатические системы управления, к которым относятся автоматизированные системы управления (АСУ), обладают следующими особенностями:

1. Характеризуются целеустремленностью. Человек как часть данной системы ставит цели, определяет задачи и выбирает средства их реализации.

2. Обладают адаптивностью. Система изменяет режим функционирования в соответствии с новыми условиями [1].

Наряду с недостатками (присутствие «*человеческого фактора*»), эргатические системы обладают рядом преимуществ, таких как *нечеткая логика, способность к эволюции*, способность к принятию решений в нестандартных ситуациях. В силу этих особенностей для таких систем модельное отображение АСУ в виде классической следящей системы, показанной на рис.1, становится неконструктивным.



Рис.1

В следящей системе алгоритм преобразования разницы между параметрами целевых установок и параметрами состояния системы установлен при её проектировании.

В эргатических системах, как показано на рис. 2, функции элемента сравнения выполняет оператор. Помимо целей задаваемых вышестоящей системой, оператор реализует собственные цели, связанные с обеспечением эффективности функционирования системы и реагированием на внезапные изменения состояния окружающей среды.

Сам процесс сравнения достигнутых показателей с целевыми показателями это интеллектуальный процесс, продуктом которого являются решения оператора. Далее решение порождает действие. В соответствии с принятым решением оператор может регулировать отдельные параметры, непосредственно воздействуя на исполнительный механизм. Такой режим управления можно называть штурвальным. Либо оператор, в соответствии с принимаемыми решениями воздействует на некий блок управляющих воздействий, с выхода которого производится регулирование параметров. Такой режим можно называть командным.

Модель, показанная на рис.2, адекватна для относительно небольших систем. Для крупномасштабных технических комплексов и социотехнических систем модель управления, показанная на рис.2, применима только для отдельных блоков и подсистем, находящихся под управлением одного оператора. Для оператора, управляющего всей комплексной системой, реализация штурвального режима недопустима. Подача управляющих воздействий непосредственно на исполнительные механизмы, через голову локального оператора чревата негативными последствиями.

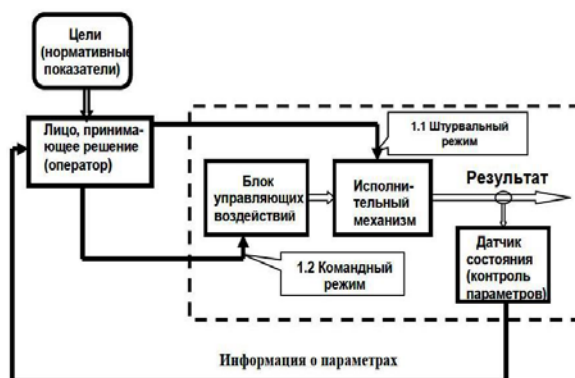


Рис. 2 Следящая система с оператором

В интегрированных системах, объединяющих несколько подсистем, центральный оператор работает в командном режиме, выдавая указания локальным операторам. Такой стиль управления характерен для комплексных систем относительно небольших масштабов в ситуации, когда лишь центральный оператор – будем называть его лицом, принимающим решение (ЛПР), имеет чёткое представление о ситуации и решаемой задаче в целом, тогда как локальным операторам доступны к восприятию только отдельные фрагменты. Например, капитан корабля никогда сам не управляет штурвалом, а тем более судовыми машинами. Это дело локальных операторов: рулевого и судовых механиков, задача которых - чётко выполнять команды капитана.

Но для масштабных систем (производственный концерн, отрасль промышленности, культурная, социальная сферы, крупное территориальное образование) командный режим не эффективен. Руководители отдельных подотраслей, участков, подсистем лучше видят ситуацию, чётче ощущают возникающие проблемы, а потому находят более эффективные решения по достижению поставленных перед ними подцелей. Штурвальный и командный режимы не применимы также при управлении сложными технологическими процессами и эргатическими системами в такой ситуации когда:

- причинно-следственная связь между входным воздействием и откликом системы не поддается алгоритмизации;
- отклик системы появляется со значительной временной задержкой относительно момента поступления входного воздействия;
- характер отклика таков, что качество его не поддается четкой количественной оценке.

Процесс управления в таких ситуациях носит нормативно-

ограничительный характер и осуществляется в рамках системы адаптивного управления, блок-схема которой представлена на рис. 3. Режим адаптивного управления осуществляется путем задания рамок допустимого состояния для некоторого набора параметров, характеризующих состояние системы, либо степень достижения отдельных подцелей. Положение ограничительных рамок может изменяться с учетом изменения состояния окружающей среды.



Рис.3. Адаптивная система управления

В контуре обратной связи обеспечивается сбор данных о состоянии системы и о параметрах конечного продукта. На основе обработки данных разрабатываются варианты корректировки регулирующих параметров и производятся необходимые изменения нормативных параметров, а далее локальные системы управления обеспечивают поддержание этих параметров в новых установленных пределах.

Для того, чтобы модели, представленные на рис. 2, рис. 3, явились реальной основой для дальнейшей проработки и проектирования системы, необходимо иметь модель, достаточно адекватно отображающую поведение ЛПР. В настоящей работе ниже предлагается модель личности, включающая учёт таких параметров личности, как привычность, знания, мотивация. Кратко описывается методика их определения и показаны характеристики информационных потоков, могущих усилить **человеческие** интеллектуальные ресурсы ЛПР и повысить возможность проявления его компетенций и его мотивированности.

Основной особенностью поведения личности является ее целеустремленность, проявляющаяся в том, что в любом окружении ни структура действий личности, ни структура ее функций не могут быть заданы извне, а определяются, *собственным выбором* личности. С учетом этого кибернетическая модель ЛПР как активного элемента АСУ следует представлять как последовательное соединение двух блоков, показанное на рис. 4.

Процессы выбора решения и его реализации определяются следующими свойствами индивида:

- вероятностью выбора индивидом определенного способа действий C_i в заданном окружении S , эффективностью для индивида выбранного способа действий и удельной ценностью V_j определенного результата G_j , для достижения которого был выбран способ действий C_i . Указанные характеристики определяются следующими функциями:

- вероятность P_i выбора индивидом способа действий C_i в окружении S есть функция

$$P_i = P\{C_i \mid A \text{ находится в } S\}$$

- эффективность E_{ij} реализации выбранного способа действий C_i , определяется как вероятность того, что способ C_i будет продуцировать именно тот результат G_j , который был выбран индивидом как предпочтительный, то есть

$$E_{ij} = P\{G_j \mid A \text{ выберет } C_i, \text{ находясь в } S\}$$

Понятие удельная ценность означает ту ценность, как её определяет ЛПР в конкретной ситуации лично для себя, либо конкретно для организации, которой он руководит. В определённой ситуации удельная ценность может кардинально отличаться от общепринятой.



Рис. 4 Кибернетическая модель личности как активного элемента системы

Например, для Робинзона Крузо найденное на потерпевшем крушении корабле золото имело гораздо меньшую удельную ценность, чем несколько столярных инструментов.

Для данного субъекта ожидаемая удельная ценность любого результата EV прямо пропорциональна шансам на его достижение:

$$EV = \sum_i \sum_j P_i E_{ij} V_j$$

и при нулевых шансах на достижения любой результат, сколь привлекательным он бы ни казался, имеет для индивида, нулевую ценность.

Сомножители в правой части выражения, определяющего удельную ценность результата, сами являются функциями ситуации выбора, значит

$$EV = \pi\{ [C_i], [G_j], [S_k] \}.$$

Теперь можно определить кибернетическую модель личности, выступающей в роли активного элемента организационной системы, как математическую функцию π , связывающую ожидаемую удельную ценность в

любой ситуации выбора со свойствами возможных способов действий, их возможных результатов и существенными переменными окружения.

Итак, личность в ситуации выбора характеризуется тремя вероятностными функциями, приведенными в таблице 1.

Эти функции f , g , и h являются как бы тремя измерениями личности, полностью описывая ее поведение в роли активного элемента эргатической системы.

На основе этих параметров формируется стиль управления ЛПР. *Стиль управления - совокупность предпочтительных способов действий индивида в сходных окружениях.*

Важно отметить, что каждая из трех вероятностей, указанных в табл. 1, является функцией всех трех аргументов и, таким образом, все вероятности являются взаимозависимыми.

Таблица 1. Вероятностные характеристики личности

Параметры ситуации выбора	Функции	Аргументы функции		
		Способы действий	Возможные результаты	Окружение
Вероятность выбора	$P_i = f\{$	$[C_i],$	$[G_i],$	$[S_i]\}$
Эффективность выбора	$E_{ij} = g\{$	$[C_i],$	$[G_j],$	$[S_i]\}$
Удельная ценность	$V_j = h\{$	$[C_i],$	$[G_j],$	$[S_i]\}$

В общем случае величина $P\{G_j\}$ определяется выражением

$$P\{G_j\} = \sum_i P_i E_{ij}$$

то есть, она равна сумме произведений вероятностей выбора каждого способа действий на вероятность того, что, будучи выбранным, этот способ продуцирует результат G_j .

Но вероятности выбора способов действий и эффективности этих способов являются функциями одних и тех же аргументов S_k , G_j , C_i , поэтому

$$P\{G_j\} = f\{ [C_i] , [G_j] , [S_k] \}.$$

Таким образом, роль индивида в ситуации выбора состоит в преобразовании свойств ситуации выбора в вероятность выбора способов действий, эффективность выбранных способов действий и удельные ценности получаемых результатов. То есть, любое решение, принимаемое ЛПР, базируется на его персональных системных параметрах. И кибернетическую модель ЛПР можно представить так, как это показано на рис. 5. Предлагаемая модель представляет ЛПР как исполнительный элемент, трансформирующий поставленную задачу в требуемый резуль-

тат с вероятностью, зависящей от вероятности выбора подходящего способа действий и эффективности этого способа по отношению к требуемому результату. При этом как вероятность выбора адекватного способа, так и его эффективность определяются такими системными свойствами ЛПР, как *привычность, знание, мотивация*.

В процессе взаимодействия ЛПР с остальными элементами управления технологическим процессом параметры его системных свойств поддаются информационному управлению на основе циркулирующих в системе сообщений.



Рис. 5.2. Модель ЛПР как активного элемента организационной системы

Таким образом, ЛПР в эргатической системе управления технологическим процессом является не просто активным элементом, способным преобразовать поступающий сигнал, но и *управляемым*, поскольку его передаточная функция в каждый момент времени определяется поступающими на дополнительные входы информационными воздействиями.

Исходные данные по системным параметрам оператора «ориентированность», «инструктированность» и «мотивированность» можно получить путем измерения указанных параметров у группы конкретных операторов [2]. Для измерения каждого из параметров наблюдаемый оператор должен быть поставлен в ситуацию, в которой доминирующим фактором, влияющим на принятие решения, является измеряемый параметр.

Естественно, что с учетом специфики каждой эргатической системы способ измерения этих параметров требует более детального рассмотрения, что может быть осуществлено только на основе анализа информационных потоков, циркулирующих в данной системе управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Меньков А.В., Острейковский В.А. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Оникс. 2005. - 640 с.
- [2] Бескровный И. М. Системный анализ и информационные технологии в организациях. Учебное пособие. М.: РУДН, 2012. - 392 с.

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

И. М. Бескровный, *д. т. н.*

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Любая сфера человеческой деятельности, в особенности экономика, медицина, промышленное производство, проведение боевых операций, связана с принятием решений в условиях неполноты информации. Источники неопределенности могут быть самые разнообразные:

- нестабильность экономической и/или политической ситуации;
- неопределенность действий партнеров по бизнесу, случайные факторы, т.е. большое число обстоятельств, учесть которые не представляется возможным, например, погодные условия, неопределенность спроса на производимые системой товары.

Решения, с учетом перечисленных и множества других неопределенных факторов, принимаются в рамках так называемой теории принятия решений – аналитического подхода к выбору наилучшего действия (альтернативы) или последовательности действий [3, 4]. В зависимости от степени определенности возможных исходов или последствий различных действий, с которыми сталкивается лицо, принимающее решение, в теории принятия решений рассматриваются три типа моделей [3, 4]:

- выбор решений в условиях определенности, если относительно каждого действия известно, что оно неизменно приводит к некоторому конкретному исходу;

- выбор решения при риске, если каждое действие приводит к одному из множества возможных частных исходов, причем каждый исход имеет вычисляемую или экспертно оцениваемую вероятность появления;

- выбор решений при неопределенности, когда то или иное действие или несколько действий имеют своим следствием множество частных исходов, но их вероятности зависят от состояния окружающей среды.

– Наиболее эффективной среди моделей третьего типа является, так называемая модифицированная (или расширенная) модель, структура которой представлена на рис.1. В расширенной матрице решений представлены следующие параметры:

- - целевые показатели $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$, которые ЛПР желает достигнуть;
- - матрица вероятностей p_{ij} , характеризующих шансы на достижение каждого из целевых состояний при реализации каждой из исследуемых альтернатив;
- - вектор значимости целевых показателей $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$.

Оценки целевых показателей (мотивировки)		w_1	w_2	...	w_n	Ценность Альтернативы $E(V_i)$
Целевые показатели		G_1	G_2	...	G_n	
Альтернативы	Альтернатива a_1	p_{11}	p_{11}	...	p_{1n}	$E(V_i) = \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j$
	Альтернатива a_2	p_{11}	p_{11}	...	p_{2n}	
	Альтернатива a_l	
	Альтернатива a_m	p_{11}	p_{11}	...	p_{mn}	

Рис.1.Модифицированная матрица решений

В соответствии с этой моделью наиболее предпочтительной альтернативой является та, которая доставляет максимум полезности (или мотивировки):

$$E(V^*) = \max_i \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j$$

Модифицированная модель ориентирована на активный характер исследований. Она позволяет сравнивать между собой альтернативные варианты разрабатываемых конструкций, действий, организационных решений и т. д., и выбирать альтернативу, которая повышает вероятность достижения желательных целевых показателей и снижает вероятность наступления негативных последствий принятия того или иного решения. При этом под выбором предпочтительной альтернативы может также подразумеваться выявление (распознавание) наиболее вероятной альтернативы (причины) появления некой совокупности последствий (наблюдаемых признаков исследуемой ситуации). Применение модифицированной модели требует обязательного дополнительного рассмотрения для выбора используемых критериев оценки полезностей. Прежде всего, в качестве целевых показателей следует иметь в виду не только желательные результаты, достигаемые при выборе конкретной альтернативы, но и все неизбежные последствия,

обусловленные этим выбором, в том числе, естественно и негативные.

Недостатком расширенной модели является то обстоятельство, что ожидаемая значимость (полезность, ущерб) любой из намеченных целей по существу оценивается только для одного состояния окружающей среды. Причем для этого состояния нет сформулированного описания. Между тем, значимость каждой из целей может значительно изменяться при изменении состояния окружающей среды. Даже если не забыты вероятные негативные последствия, то оценки их значимости могут кардинально измениться при наступлении определенных состояний среды.

Например, если бы решение о вводе в эксплуатацию Саяно-Шушенской ГЭС принималось с помощью научных методов теории принятия решений, а не только на основе субъективного анализа краткосрочных перспектив и конъюнктурных соображений. Тогда при анализе альтернативных вариантов ввода в эксплуатацию (например: ввод без проведения профилактического ремонта, проведение профилактического ремонта агрегата, в котором в течение двадцати лет возникают нежелательные вибрации, проведение капитального ремонта агрегата, замена и т. п.) следовало рассмотреть негативные последствия каждой из альтернатив: отказ агрегата, серьезную аварию и наконец, срыв шпилек и выброс агрегата.

Если вероятности вклада каждой из альтернатив в продуцирование негативных последствий оценивались бы для лишь одного состояния среды – будничный ход событий, то эти оценки могли быть достаточно низкими, не заслуживающими учета. Особенно вероятность катастрофы такого масштаба, какой имел в реальности. Но, если ввести в рассмотрение такие состояния среды, как возникновение перегрузки, усталость металла шпилек, нарушение связи с центральной диспетчерской, неадекватные действия оператора, не отключившего турбину, то оценки значимости негативных последствий неизмеримо возросла бы. И тогда решение о вводе в эксплуатацию недостаточно надежного оборудования не могло бы расцениваться как низкий профессионализм и халатность, а явилось бы, по существу, актом промышленной диверсии.

Таких примеров, когда серьезные аварии, катастрофы, пожары и т. п., следствием которых являлась гибель людей, насчитываются сотнями. Причиной, в большинстве случаев, оказывался так называемый «человеческий фактор». По существу, истинной причиной являлись имевшие место непродуманные проектные решения, отсутствие профилактического контроля и непродуманные действия спасателей во время происходящего чрезвычайного происшествия.

Например, когда в 2002 году террористы захватили заложников в московском Мюзик-холле, то после долгих малоуспешных переговоров правительство РФ отдало приказ применить неизвестный газ парализующего свойства. Руководство МЧС, предвидя возможные негативные последствия, предлагало развернуть полевой госпиталь непосредственно у входа в театр, чтобы получить возможность оказания экстренной медицинской помощи на месте. Но, руководство Москвы «гордо» отказалось и приняло решение организовать доставку пострадавших автобусами в «лучшие» больницы Москвы. Водители автобусов в большинстве были не местными. Улицы Москвы знали плохо. «Лучшие» больницы оказались совершенно не приспособленными для массового приёма пострадавших. В итоге, из-за задержки в оказании экстренной медицинской помощи, погибло 130 мирных жителей и 40 террористов.

Итоги, скорее всего, могли бы быть другими, если бы лица, принимавшие решения в обоих примерах, провели оценку альтернатив (подписывать акт о вводе в эксплуатацию ГЭС с «хромым» агрегатом, или произвести его ремонт, организовывать доставку пострадавших автобусами, или развернуть полевой госпиталь МЧС) в рамках модели, показанной на рис.1.

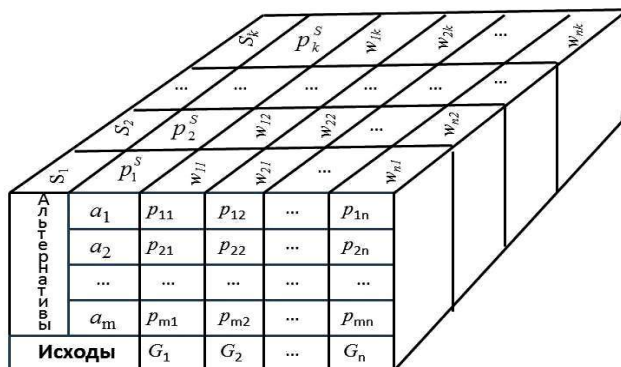


Рис. 2. Трёхмерная матрица принятия решений

Надёжность, получаемых на базе расширенной модели оценок, можно ещё повысить, устранив некоторое присущее данной модели ограничение. Ограничением является то обстоятельство, что ожидаемая значимость (полезность) любой из намеченных целей по существу оценивается только для одного состояния окружающей среды. Причем для этого состояния нет сформулированного описания. Между тем, значимость каждой из целей может существенно изменяться при изменении состояния окружающей среды. Даже если не забыты вероятные

негативные последствия, то оценки их значимости могут кардинально измениться при наступлении определенных состояний среды.

Более полный учёт возможных обстоятельств при реализации выбранных альтернатив возможен в рамках предлагаемой трёхмерной модели, показанной на рис. 2. В модели ЛПР представляется как лицо, производящее выбор из совокупности альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. При этом заданы:

- набор состояний окружающей среды $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$, факты наступления которых не поддаются управлению, но вероятности их наступлений $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ известны (то есть, состояние s_1 будет иметь место с вероятностью p_1 и т. д.).

- совокупность N возможных исходов G_1, G_2, \dots, G_j . При этом $1 \leq j \leq N$.

- матрица вероятностей p_{ij} того, что выбор i -й альтернативы приведет к j -му исходу. Исходы могут быть как взаимно-независимыми, так и связанными между собой определенными зависимостями. Это обстоятельство учитывается при оценке вероятностей p_{ij} . Позитивные исходы могут трактоваться как цели, для достижения которых и производится выбор наилучшей альтернативы. Негативные исходы отображают факт реализации возможных негативных последствий.

- матрица платежей в терминах затрат или выигрышей w_{jk} , ассоциированных с каждой парой “исход - состояние окружения”.

В ситуациях, когда нет необходимости учитывать различные состояния окружающей среды, то есть, либо это состояние не оказывает существенного влияния, либо маловероятны заметные изменения этого состояния, модель, представленная на рис.2, сводится к двумерной расширенной матрице, представленной на рис. 1. Ценность каждой i -ой альтернативы при k -ом состоянии окружающей среды определяется соотношением:

$$V(A_{ik}) = \sum_{j=1}^N p_{ij} w_{jk} .$$

Лучшей альтернативой является та, которая обладает наибольшей ожидаемой ценностью.

В ситуации, когда подразумевается, что каждая из анализируемых альтернатив заведомо приводит лишь к одному из исходов, трехмерная матрица решений сводится к двумерной матрице, отображенной в плоскости XZ. В качестве выбираемых альтернатив в этом случае рассматриваются ожидаемые исходы, а элементы матрицы платежей, которые на рис. 1 обозначаются v_{ij} , в матрице на рис. 2 обозначены как w_{jk} . Наилуч-

шей альтернативой в этой ситуации является та, выбор которой доставляет исход G_j , имеющий наибольшую ожидаемую ценность. Ожидаемая ценность каждого из исходов может быть определена из соотношения

$$V_{\Sigma}(G_j) = \sum_{k=1}^L p_k^S w_{jk}$$

Таким образом, трехмерная матрица на рис. 2 представляет совокупность LN двумерных матриц. При этом L матриц, отображаемых в плоскости XY , являются расширенными матрицами решений, а N матриц, отображаемых в плоскости YZ , являются матрицами статистической игры [3].

Эта особенность трехмерной матрицы придает ей свойство универсальности, поскольку позволяет более полно прогнозировать как ожидаемый выигрыш при выборе той или иной альтернативы, так и степень тяжести сопутствующих ей негативных последствий. Например, ожидаемая ценность каждой из анализируемых альтернатив можно оценить из соотношения:

$$V_{\Sigma}(A_i) = \sum_{k=1}^L V(A_{ik})$$

Возвращаясь к катастрофе на Саяно-Шушенской ГЭС, можно предположить, что использование подобного подхода могло бы дать убедительные оценки опасности принятия решения о вводе ее в эксплуатацию при наличии явных признаков ненормальности поведения одного из агрегатов. Даже если бы вероятности масштабной катастрофы оценивались чересчур оптимистично для стандартных условий окружающей среды, то при рассмотрении неблагоприятных условий окружающей среды эти оценки вероятностей должны были значительно возрасти. И тогда очень трудно было бы «закрыть глаза» на ожидаемые степени тяжести негативных исходов, на недопустимо высокий риск принятия этого решения.

Что касается будущих перспектив использования предлагаемого подхода, то в настоящее время отсутствует практический опыт его применения. Поэтому, о возможной эффективности модели можно говорить только гипотетически, исходя из логических рассуждений, изложенных в [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бескровный И. М. Анализ и выбор диагностических гипотез на основе модифицированных моделей принятия решений.// Научная конференция: Системный анализ, управление и обработка информации в здравоохранении URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5015>
- [2] Бескровный И. М. Системный анализ и информационные технологии в организациях. Учебное пособие. М.: РУДН, 2012. - 392 с.

- [3] Теория выбора и принятия решений. Учебное пособие. – М., Наука, 1982
[4] Х. Таха Введение в исследование операций.- М., Мир, 1985

СОЗДАНИЕ ОЩУЩЕНИЯ «ПОГРУЖЕННОСТИ» С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ДИСПЛЕЕВ

В.В. Беляев, д.т.н.

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Наука и промышленность, относящиеся к технологиям средств отображения информации (дисплеев), стали одним из важнейших и быстро развивающихся сегментов современной электроники. Поскольку неотъемлемым элементом системы отображения является человек и его система восприятия, научные исследования и разработки в этой области направлены на повышение качества отображаемого изображения и гармонизацию его технических параметров с особенностями визуального восприятия.

В два-три последних года (2012-2015) многие разработки крупных и мелких компаний, работающих в этом направлении, ведутся для наиболее полного удовлетворения требований «погруженности» (immersion). Погруженность означает ощущение реальности показываемого мира, ради чего дисплеями должно быть покрыто все пространство вокруг пользователя, оператора, наблюдателя... Сами дисплеи должны формировать изображение высочайшего пространственного и временного разрешения, цветового диапазона. С учетом, что пространство вокруг нас имеет различную форму и кривизну, дисплеи должны воспроизводить эти особенности. Многие разработчики учитывают и другие, невизуальные органы чувств – слух, запах, осязание.

Предполагается, что в технике погружения будут создавать кино, вести телевидение, лекции, медицинские операции, конструировать новые системы, в том числе и безопасности; разумеется, она будет широко использоваться в рекламе и развлечениях.

Китайская компания BOE разработала и изготовила прототип дисплея с самым высоким в мире разрешением: 7680*4320 пикселей (более 33 млн.). Его размер 98 дюймов (2,5 м) по диагонали. Такой стандарт разрешения (8k*4k) называется QUHD (quarto ultra high definition, или четырехкратная сверхвысокая четкость). Обычное телевидение высокой четкости (ТВЧ или HDTV) имеет разрешение 1920*1080 пикселей. С учетом трехцветности показатель по разрешению надо умножить на три.

В литературе и на выставках представлены другие разработки со сверхразрешением на меньшем размере дисплейной панели. Японская Sharp разработала медицинский дисплей с разрешением 4k (3680*2160) диагональю 31,5 дюйма (80 см) ЖК дисплей японской компании Japan Display Inc. по технологии планарного переключения (in-plane-switching или IPS) с такой же четкостью для планшета имеет размер в три раза меньше (10,1 дюйма или 26 см). На одном дюйме размещается 438 точек (172 на 1 см), соответственно, размер одного пикселя менее 60 мкм. У обычного монитора он составляет около 140 мкм. При этом модуль имеет толщину всего 2,35 мм, обеспечивая яркость 400 кд/м² и контраст 1100 при энергопотреблении 321 мВт.

Изделие компании VP (Япония) имеет такое же разрешение. Такая панель является «умной» и «зеленой» (экологичной). 28-дюймовое (71 см по диагонали) устройство может работать как в режиме обычной, так и четырехкратной (3680*2160 пикселей) четкости с полноцветным изображением. Прибор оснащен датчиками окружающей освещенности и имеет функцию подсветки, приспособленную к содержанию изображения. В пленочный усилитель яркости встроены квантовые точки. Благодаря все-му этому дисплей имеет вдвое меньшее энергопотребление по сравнению с обычным устройством. Стоимость изготовления панели меньше, чем у обычных ЖК устройств.

Дисплеи для погруженности должны учитывать форму окружающего пространства. Широкое поле зрения обеспечивают изогнутые, искривленные (curved) панели. Такие панели для телевизоров разработали корейские компании Samsung и LG как по жидкокристаллической технологии, так и по технологии органических светодиодов (OLED). 55-дюймовый (140 см) OLED телевизор LG с искривленным экраном удостоен серебряной награды Международного дисплейного общества (SID) «Дисплей года».

Для автомобилей японская компания bsi изготавливает не только вогнутые, но и выпуклые дисплеи для приборной доски и различных видов «зеркал».

Всеохватность дисплеями всего окружающего пространства может быть достигнута при использовании пленочных дисплеев. В этом направлении больше всего ведутся разработки по технологиям жидких кристаллов, органических светодиодов и электронной бумаги. есть интересные предложения по применению свечения в газовом разряде. В американской компании Information Technology Ltd. разрабатывается технология «Плазменные панели 3.0». Основой ее должны послужить пленки с мезополостями, заполненными неравновесной холодной плазмой тех же газов, что применяются и в традиционных панелях. Такие пленки можно применять для формирования изображений или освещения. Подобные

прототипы уже завоевали награду за лучший светильник на одном из электронных шоу в США в 2013 г. Другие возможные применения таких пленок, отмеченные докладчиком, - радиочастотные датчики в охранных системах, переключаемая защита от радиочастотного излучения, устройства для защиты приемных антенн, генератор озона.

Профессор Цутаэ Шинода, глава компании Shinoda Plasma, Кобе, Япония, демонстрировал гигантские (2*4,2 м) пленки с микрокапсулированной плазмой. Название технологии – LAFi (Luminous Array Film – пленка светящихся устройств). Такая пленка в изогнутом виде обеспечивает широкое поле зрения (до 120°) и при этом занимает площадь в 2,5 раза меньше, чем обычный плоский дисплей с тем же полем зрения. Удельная масса единицы площади дисплея – 40 кг/м². Производство такой пленки считается существенно проще производства обычной плазменной панели – всего 15 процессов вместо 47. При этом не нужны «чистые» комнаты. Такие гибкие плазменные гибкие пленки установлены на множестве объектов: музей астрономии в г. Акаши, международный аэропорт Кансай, рекламные колонны на станциях метро, универмаг в г. Токио с пленками до 2*8 м. Стратегическое направление рынка пленок – установка на стенах, на полах, и на потолках самой причудливой формы.

Ведущая компания в направлении производства электронной бумаги (материалов и устройств) E'ink разрабатывает изделия не только черно-белые, но и с передачей полутонов и цветов. Размеры таких панелей достигают 2 м по диагонали.

На рынке погруженности свою долю стремятся занять также производители и разработчики OLED дисплеев. Японская компания Sony разработала самый большой в мире 56-дюймовый (142 см) OLED телевизор с 4k разрешением. Благодаря новой конструкции излучающего элемента фирма планирует довести размер панелей до 85 дюймов (216 см). Эффект погружения в суперреальность Sony достигает и используя OLED микродисплеи, а также сверхпортативные проекторы. На расстоянии 53 см от стены проектор со световым потоком создает 4k изображение размером 170-270 см, а другая модель на расстоянии 70 см – изображение размером 270-370 см.

Китайская компания BOE планирует выпустить к 2017 г. OLED телевизор с разрешением до 600 точек на дюйм (почти 240 на 1 см или 1 пиксель с размером 40 мкм). Для таких телевизоров весьма перспективной является технология на оксидных транзисторах (IGZO), разрабатываемая японской корпорацией Panasonic (Matsushita), компания AVC Networks. Такая технология обеспечивает высокую подвижность зарядов, а значит, и быстродействие, а главное ее достоинство – сейчас только с ее помощью можно делать плоские телевизоры 4k*2k. В этой же компании разработали новый метод нанесения пленок компонентов органических све-

одиодов из раствора низкомолекулярных материалов, что существенно удешевляет процесс производства по сравнению с использованием вакуумных технологий. Умение специалистов корпорации разрабатывать новые микро- и нанoeлектронные технологии, в том числе IGZO, при сотрудничестве с компаниями TNO/Holst Centre и imes позволило создать транзисторы для гибкого активно матричного OLED (AMOLED) дисплея и прототип этого устройства на пластиковой фольге.

А в компании Eco Solutions, также входящей в корпорацию Panasonic (Matsushita), разработали метод управления режимом работы белого OLED, позволяющего увеличить световую эффективность работы излучателя и наблюдать изображение в более широком диапазоне углов фонового излучения, чем было возможно ранее.

Для технологии погруженности разрабатываются также панели, позволяющие пользователю манипулировать изображением, изменять его характеристики или положение.

Группа Light Engines (световые двигатели) компании Lumiodo продемонстрировала, как можно двигать пальцем, не обязательно касающемся экрана, фрагменты изображения. В университете Жецзянь (Zhejiang), Китай, разработана система воспроизведения объемного изображения Touchable Light Field Display, «плавающего» в воздухе, которого можно коснуться и, например, увеличить. Компания Sun Innovations разработала портативный прозрачный экран, на который можно проецировать полноцветное изображение высокой четкости. Почти идеальный 3D дисплей, в котором, по мнению разработчиков, преодолены недостатки других известных разработок (мертвая зона, параллакс, перекрытие правого и левого изображения, отсутствие псевдостереоскопии и т.п.) создан в группе Polar8G.

В американской компании Ostendo Technologies Inc. изобретено квантовое фотонное устройство для формирования изображений на основе очень маленькой трехмерной микросхемы с излучателями, которые формируют трехмерное изображение перед пользователем. В перспективе прибор должен заменить многие современные дисплеи.

МЕМРИСТОРЫ. ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А. Н. Яценко

Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В данной работе раскрыто понятие мемристор, его строение и характеристики. Дан обзор мировых разработок и планов возможности применения мемристоров.

Ключевые слова: мемристор, ячейка памяти, искусственный интеллект.

Развитие нано - и микроэлектроники во многом зависит от динамичного роста современных информационных технологий, которые требуют разработки и усовершенствования все более емких и быстродействующих устройств для хранения и записи информации, обладающих способностью перезаписи и энергозависимости.

Перспективы в создании компьютерных систем открывает использование аналоговой архитектуры искусственных нейронных сетей, которые позволяют оптимизировать принцип обработки команд по сравнению с цифровым принципом, повсеместно используемым в классическом компьютере фон Неймана.

Основу предлагаемых нейроморфических систем составляют мемристоры – двухполюсные устройства, с нелинейной вольт – амперной характеристикой, обладающие гистерезисом. Для гистерезиса характерно явление "насыщения", а также неодинаковость траекторий между крайними состояниями, которое позволяет использовать его в качестве *ячейки памяти*. Электрические характеристики мемристора определяются его функционированием, что очень похоже на свойства синапса биологических нейронных систем. Основные факторы эффективности таких систем – высокая связность нейронов, которая позволяет в значительной мере распараллелить выполнение операций, и адаптируемость весов синапсов, лежащая в основе функционирования и обучаемости биологических и искусственных нейронных систем. В итоге, применение мемристоров в качестве синапсов нейроморфических систем позволяет повысить их вычислительную эффективность благодаря увеличению плотности логических элементов и связности системы.

Мемристор (*англ. memristor, от memory – память, и resistor – электрическое сопротивление*) – пассивный элемент в микроэлектронике, способный изменять своё сопротивление в зависимости от протекавшего через него заряда (интеграла тока за время работы).[1] Этот элемент по-

сле отключения напряжения цепи не изменяет свое состояние, т.е. "запоминает" последнее значение сопротивления.

Существование мемристора было теоретически предсказано американским исследователем профессором *Леоном Чуа* (Цай Шаотаном) в 1971 году. Он выдвинул и математически обосновал гипотезу о том, что есть четвертый базовый элемент электрических цепей – наряду с индуктивностью, конденсатором и резистором. Профессор исходил из того, что должны быть соотношения, связывающие все четыре основные переменные электрических цепей: ток, напряжение, заряд и магнитный поток. Всего таких соотношений может быть шесть, пять из которых всеми известны. Последнее соотношение, связывающее поток и заряд было неизвестно. Леон Чуа предложил, что эти величины связаны через "отсутствующий" элемент – мемристор, обладающий «мемристивностью». Под потоком в этом случае следует понимать интеграл от напряжения по времени. Чуа показал, что в общем, мемристивность должна зависеть от заряда.

Более четверти века мемристор оставался гипотетическим элементом цепи, не имеющим материальной реализации. Однако в 2008 году группа учёных во главе с Р. С. Уильямсом в исследовательской лаборатории фирмы HP создала лабораторный образец запоминающего элемента, демонстрирующего некоторые свойства мемристора. Его свойства соответствовали модели, предложенной Леоном Чуа. Мемристор, разработанный группой исследователей Уильямса, представлял собой тонкий слой полупроводникового материала, размещенный между двумя металлическими контактами.

В отличие от теоретической модели, полученное устройство не накапливает заряд, подобно конденсатору, и не поддерживает магнитный поток, как катушка индуктивности. Работа устройства (изменение его свойств) обеспечивается за счет химических превращений в тонкой (5 нм) двухслойной плёнке *двуокиси титана*. Один из слоев пленки слегка обеднен кислородом, и кислородные вакансии мигрируют между слоями под действием приложенного к устройству электрического напряжения. Данную реализацию мемристора следует отнести к классу наноионных (связанные с быстрым ионным транспортом в твердотельных наносистемах) устройств. [1]

Конструктивно мемристоры состоят из тонкой 50 нм плёнки, которая включает два слоя - изолирующего диоксида титана и слоя, обеднённого кислородом. Функциональный элемент имеет стандартные латеральные размеры 100 нм x 100 нм и менее, толщина диэлектрических слоев которого составляет обычно 5 – 20 нм. Плёнка расположена между двумя платиновыми 5 нм электродами. При подаче на электроды напряжения изменяется кристаллическая структура диоксида титана: благодаря диф-

фузии кислорода его электрическое сопротивление увеличивается на несколько порядков.

В России мемристор был получен 12 апреля 2012 г. в лаборатории «НаноФаб 100» Тюменского государственного университета, в рамках проекта по моделированию нейронных сетей мозга, осуществляемых ТюмГУ и созданным университетом высокотехнологичным предприятием ООО «ТАСО».

Уже изученные всеми свойства мемристоров позволяют говорить о том, что возможно создание компьютера, работающего, как человеческий мозг. На сегодняшний день мемристоры являются единственным неживым материалом, функции которого приближены к функциям синапсов головного мозга. А это уже в свою очередь говорит о возможности создания искусственного интеллекта (ИИ). В 1997 г. в Тюмени начали работу над созданием ИИ. В то время было создано наукоемкое предприятие ТАСО (Тюменских ассоциативных систем объединение). За эти годы исследователи создали программные модели нейронов клеток мозга и кортикоморфные (подобные коре головного мозга) искусственные нейронные сети. Так как нейросети состоят из миллиардов клеток, вручную нарисовать их невозможно. Тюменцы решили эту проблему, создав технологию кибергеномики. Специальный алгоритм обеспечивает рост, развитие и гибель искусственных нейросетей. Все как в жизни.[2]

Над совершенствованием, применением и дальнейшими перспективами мемристоров в США трудится всеми известная компания Hewlett – Packard (HP). В апреле 2010 года в HP объявили о существенном прогрессе в исследованиях мемристоров: в лабораториях компании разработаны образцы ячеек со стороной 3 нм и скоростью переключения около одной наносекунды. Кроме того, учёным удалось создать трёхмерный массив таких элементов, способный выполнять логические операции и работающий аналогично синапсам - "сигнальным линиям" между нейронными клетками в мозгу человека. Скорость передачи сигнала по синапсу зависит от времени активации нейронов: чем меньше временной промежуток между активацией, тем быстрее передаётся сигнал по синапсу. Точно так же работает и массив мемристоров: при подаче тока с промежутками в 20 мс сопротивление мемристора вдвое меньше, чем при 40 мс промежутках.[3] В 2012 г. были созданы нейристоры являющиеся комбинацией мемристоров, конденсаторов и других электронных компонентов, которые могут вырабатывать электрические импульсы, подобные нервным импульсам. Не смотря на то, что эти электрические импульсы имеют простые характеристики, используя их возможно создание кремниевых чипов, которые будут содержать на своем кристалле огромное количество таких нейристоров, что будет позволять оперировать большим количеством информации. В 2014 г. на конференции в Лас – Вегасе

HP поделилась своими планами о построении новой вычислительной системы на основе мемристоров, под названием "The Machine", которая обеспечит хранение информации в объеме, сопоставимом с объемом нынешних жестких дисков и совмещая это со скоростью, эффективностью работы динамической системы оперативной памяти и энергозависимостью Flash – памяти.

На основе мемристоров есть еще и другие интересные и перспективные исследования. С 2010 г. используя мемристоры HP и финансовую поддержку от Управления перспективных исследовательских программ Пентагона DARPA, программисты Бостонского университета тоже ведут разработки по созданию ИИ. Они работают над усовершенствованием своего программного обеспечения MoNETA (Modular Neural Exploring Traveling Agent), которое в совокупности с мемристорами будет иметь функции подобные мозгу млекопитающих. В этом же году, согласно информации из журнала Nano Letters, ученые из Южной Кореи в научно-исследовательском институте электроники и телекоммуникаций Тэджона создали новый вид энергозависимой памяти на основе мемристоров, изготовленных из пленки оксида графена, процесс изготовления и структура которых позволяет наносить их на гибкую подложку. В начале 2011 г. представители тайваньской Национальной лаборатории прикладных исследований сообщили, что разработали образцы микросхем памяти RRAM, ячейка памяти которых изготовлена на основе мемристоров и имеет самый маленький размер порядка 9 нм. На рынке первые промышленные образцы будут представлены через пару лет. Японская компания Elpida Memory, которая является третьей в мире по производству динамической оперативной памяти, разработала и занимается производством первых опытных образцов быстродействующей энергозависимой резистивной памяти. Первые образцы памяти ReRAM были разработаны в 2012 г. совместно со специалистами японской общественной исследовательской организации NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), финансированием занималось японское правительство. А последующие работы по совершенствованию технологии ReRAM проводятся с участием специалистов и ученых из компании Sharp Corporation, японского Национального института AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) и Токийского университета.

В последнее время значительно возросло количество исследований и разработок, посвященных новым, так называемым электрохимическим элементам памяти. История появления первого мемристора насчитывает всего лишь менее десятка лет, но не смотря на это, данное изобретение уже вовсю используется всеми учеными мира для усовершенствования компьютерных систем и не только. Следует еще раз отметить, что мем-

ристоры со своими достоинствами являются первым шагом на пути к реальной возможности создания искусственного интеллекта. Не смотря на все уникальные возможности и перспективы применения мемристоров, есть некоторые препятствия на пути их дальнейшего совершенствования. До сих пор нет ясного понимания тех физических процессов, которые происходят в наноразмерной пленке бинарного оксида, разделяющей два металлических электрода. Основные гипотезы, которые предлагаются для объяснения мемристорного поведения подобных трехслойных систем, сводятся либо к предложению о возникновении и исчезновении тончайших проводящих нитей в результате диффузии ионов металла, либо к движению кислородных вакансий во внешнем поле.[4 с. 28-36]

Как известно, мемристоры практически копируют работу синапсов, а это означает, что их можно использовать для создания не только структуры нейронов головного мозга, но и новых нейроподобных структур, скорость и эффективность которых являются фантастическими на данный момент. Хорошо ли или плохо это – безусловно, предмет серьезных и долгих обсуждений, но лично считаю, что дальнейшие разработки в этой области несут гораздо больше пользы, нежели потенциального вреда.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://ru.wikipedia.org>
- [2] Искусственный интеллект в интернете может появиться в течение пяти лет. 16 мая 2014 г. Павел Захаров. <http://www.taso.pro/author/admin/>
- [3] Мемристор: "недостающий элемент". 03.03.2011. Олег Нечай. <http://old.computerra.ru/vision/591537/>
- [4] Resistive switching in transition metal oxides / Materials Today. Sawa A. -2008. –V. 11, № 6.
- [5] Перспективные структуры с эффектом памяти, созданные на основе неорганических материалов. Ю. В. Храповицкая, Н. Е. Маслова, М. Л. Занавескин. 12 декабря 2013г.
- [6] Мемристоры и кроссбары: нанотехнологии для процессов. Н. Елисеев. ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 8 / 2010

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.Ю. Малькова¹, д.т.н.

А.Н. Задиранов², д.т.н.

1 – Кафедра строительных конструкций и сооружений

Российский университет дружбы народов

ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

2-Академия гражданской защиты МЧС России

141435, Московская обл, г. Химки, микрн. Новогорск.

В статье приведен сравнительный анализ отечественных месторождений редкоземельных металлов и указаны наиболее экономически выгодные пути использования минерально-сырьевой базы РЗМ России.

Ключевые слова: РЗМ – редкоземельные металлы, РЗО – оксиды редкоземельных металлов, TR_2O_3 – сумма оксидов редкоземельных металлов, металлы иттриевой группы, металлы цериевой группы, апатит, лопарит, эвдиалит, монацит, лантаноиды.

Редкоземельные металлы (РЗМ) служат для производства высокотехнологичной промышленной продукции. Не исключением является и строительная отрасль. Широко применяется способность лантаноидов улучшать механические свойства сплавов для изготовления металлоконструкций. Легирование конструкционных марок стали и алюминиевых сплавов редкоземельными металлами повышает их прочность, пластичность, жаропрочность, коррозионную стойкость, снижает порог хладноломкости.

Для сварки конструкций из углеродистых сталей применяют сварочную проволоку, микролегированную РЗМ. Самарий находит применение при создании тензодатчиков для измерения механических напряжений в металлоконструкциях. Для повышения светопрозрачности стекла используют La, Ce, Nd, Pr.

По оценке Геологической службы США (US Geological Survey - USGS), в 2011 году мировые ресурсы РЗМ составляли 113,8 млн. т. (рисунки 1) [11]. Самыми большими ресурсами РЗМ обладает Китай [1], где сконцентрировано более 40 % всех мировых запасов РЗМ. В последние годы редкоземельная промышленность КНР ориентирована на удовлетворение потребностей внутреннего рынка, что привело к ограничению экспорта РЗМ из Китая [2]. В связи с этим перед Россией встала важнейшая задача возрождения и развития отечественной индустрии редкоземельных металлов.

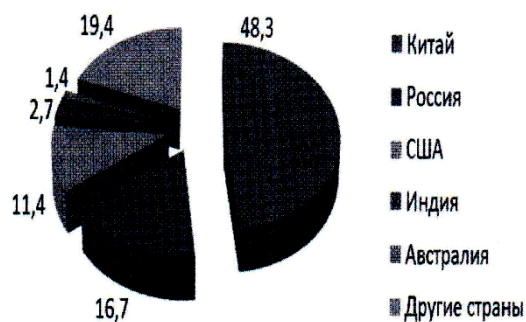


Рис. 1. Распределение мировых запасов РЗМ по странам, млн. т.

Россия в настоящее время занимает второе место в мире по разведанным запасам редкоземельного сырья. Эти запасы заключены в 17 месторождениях, где они являются либо основными, либо попутными компонентами. Основные месторождения РЗМ и распределение их балансовых запасов по субъектам РФ представлены на рисунке 2 [11].

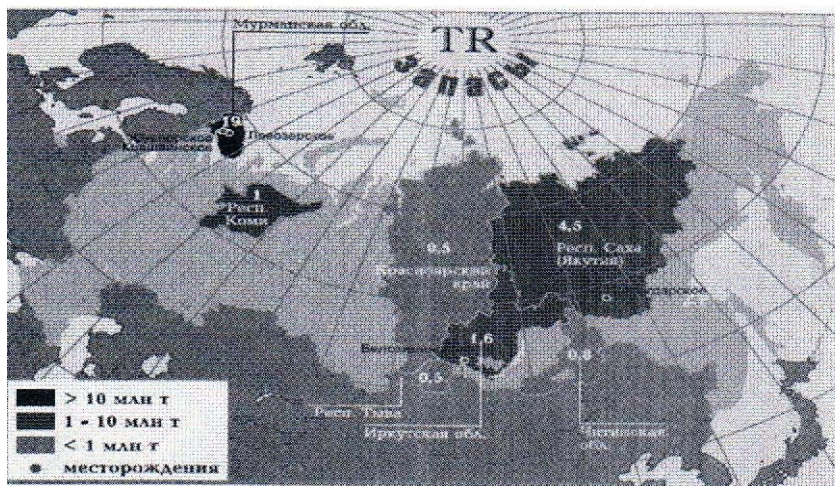


Рис. 2. Распределение балансовых запасов РЗМ по субъектам РФ, млн. т, в пересчете на РЗО

Особенность минерально-сырьевой базы РЗМ России состоит в том, что в основном она представлена комплексными рудами, в которых РЗМ являются попутными компонентами. Большинство российских редкоземельных ресурсов содержат в промышленных количествах металлы ит-

триевой группы, которые практически отсутствуют в зарубежных рудах и на несколько порядков дороже, чем более распространенные металлы цериевой группы.

Месторождения Хибинской группы разрабатываются на апатитовое сырье. В ежегодно добываемом сырье содержится 72-87 тыс. т оксидов РЗМ, которые в дальнейшем не извлекаются [4]. Получаемый апатитовый концентрат, содержащий до 1 % суммы оксидов РЗМ, направляется на предприятия по производству фосфатных удобрений. При этом до 85% оксидов РЗМ переходит в фосфогипс, побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты из апатитов. Несмотря на незначительное содержание РЗМ (0,4-1 % [4]), его можно рассматривать как один из основных источников РЗМ с учетом масштабов переработки апатита. Комплексная переработка всего апатитового сырья при ее реализации позволила бы производить около 40 тыс. тонн РЗМ в год. Основными преимуществами создания редкоземельного производства на базе апатита являются следующие моменты: не требуется дополнительных затрат на извлечение концентрата из недр; отсутствие радиоактивности; наличие необходимой производственной инфраструктуры. Важно отметить, что в апатите содержится значительное количество наиболее дефицитных и дорогих элементов средней и тяжелой групп РЗМ, в первую очередь самария, европия, гадолиния, иттрия, тербия.

В лопаритовых рудах Ловозерского месторождения массовая доля РЗМ, относящихся преимущественно к цериевой группе, составляет не менее 1,12 %; это единственный в стране объект, где ведется извлечение РЗМ попутно с титаном, танталом и ниобием [3]. Основным редкоземельным минералом Ловозерского месторождения, обрабатываемого Ловозерским ГОКом, является лопарит - комплексный минерал Ti, Nb, Ta и РЗМ. Существующие гидрометаллургические технологии позволяют получать всю гамму металлов, содержащихся в лопарите. Несмотря на сравнительно низкие содержания металлов в лопарите по сравнению с другими видами редкометального сырья, Ловозерское месторождение благодаря масштабности запасов может служить долговременной, стабильной сырьевой базой РЗМ для России.

Крупные запасы РЗМ со сравнительно высокой долей тяжелых РЗМ и иттрия заключены в эвдиалитовых рудах месторождения Аллуайв. Эвдиалитовые руды характеризуются повышенными содержаниями РЗМ средней и тяжелой групп (включая наиболее востребованные в настоящее время самарий, гадолиний, тербий, европий, иттрий). Эвдиалит является редчайшим минералом. За рубежом товарные эвдиалитовые концентраты производятся на базе единственного месторождения в Гренландии. Эвдиалитовые руды залегают на поверхности и могут обрабатываться от-

крытым способом. Обеспеченность запасами при годовой производительности карьера 1000 тыс. тонн руды составляет 70 лет.

Около 16 % запасов РЗМ страны разведано в Республике Саха (Якутия) на двух объектах: Томторское и Селигдарское месторождения. Томторское комплексное скандий-редкоземельно-ниобиевое месторождение расположено на северо-западе Республики Саха (Якутия), в экономически не освоенном районе. Практическая значимость руд Томтора определяется колоссальными запасами и уникальными концентрациями ниобия, иттрия, скандия и тербия. Запасы месторождения оцениваются в 154 млн. т руды. По запасам и концентрациям TR_2O_3 оно превышает все известные мировые аналоги и является уникальным: средняя массовая доля РЗО достигает феноменальных показателей от 8 до 12 %, в том числе 0,5 % наиболее ценного оксида иттрия (III), т. е. эти руды фактически представляют собой природный редкометалльный концентрат. Также руды Томтора содержат большие концентрации ниобия (5-7 %). Распределение РЗМ в рудах Томторского месторождения представлено на рисунке 3 [11]. Проблемой освоения Томторского месторождения является то, что оно располагается в районе с суровыми климатическими условиями и неразвитой инфраструктурой.

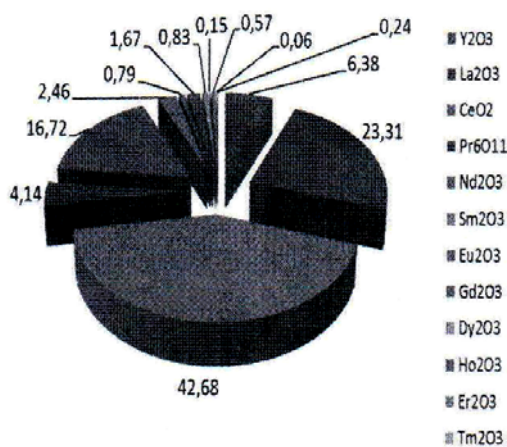


Рис. 3. Относительная массовая доля РЗМ в рудах Томторского месторождения

Большая часть прогнозных ресурсов РЗМ (84,3%) сосредоточена в Красноярском крае [10]. На Енисейском кряже разведаны и переданы для освоения Чуктуконское и Кийское месторождения. Чуктуконское месторождение близко к Томторскому как по геолого-промышленному типу, так и по содержаниям ценных компонентов в рудах (массовая доля РЗО

иттриевой группы составляет 7,32%) [5,6]. По содержанию РЗМ месторождение находится на уровне мировых лидеров и может встать в один ряд с такими крупными объектами, как Вауан Обо в Китае [7].

В этой же зоне выявлено еще одно рудопроявление редких земель - Кийское, в рудах которого массовая доля оксидов РЗМ в отдельных пробах достигает 20 %, составляя в среднем 5,9 % [9]. Основное отличие руд Кийского месторождения от руд месторождения Томтор состоит в существенно большем содержании оксидов и гидроксидов железа, что дает возможность эффективного обогащения руды за счет перевода железа в магнитное состояние и удаления его магнитной сепарацией.

Перспективным техногенным источником РЗМ могут стать отвалы монацитового концентрата Госрезерва под городом Красноуфимск (объем складских запасов составляет 83 тыс. тонн концентрата, массовая доля РЗМ – 54 %) [12]. По сути, монацит является редкоземельным концентратом. Основная причина накопления монацитового концентрата в СССР - наличие в нём тория. В конце 40-х годов XX века интерес к этому сырью определялся возможностью реализации ториевого ядерного топливного цикла для производства атомных зарядов. Красноуфимский монацит — это концентрат, собранный по всему миру. Монацитовый концентрат свозили из различных точек Земли: из Индии; Бразилии; ЮАР; с Мадагаскара. Ориентация в дальнейшем на уран-плутониевый топливный цикл привела к потере интереса к монациту. Таким образом, в России остался склад невостребованного монацита, усредненного по среднемировому уровню состава. Самое сложное в переработке красноуфимского монацита – его высокая радиоактивность. При условии решения проблемы его дезактивации из монацитового концентрата можно получить 47 тысяч тонн сырья редкоземельных металлов.

Остальные месторождения РЗМ находятся в резерве в связи с тем, что отработка значительной части запасов месторождений в современных условиях имеет низкую расчетную экономическую эффективность [8].

Выводы

1. Запасы РЗМ в Российской Федерации весьма значительны, хотя не все месторождения характеризуются высоким качеством. Наибольшее содержание РЗО характерно для руд Томторского (7,98 %), Чуктуконского (7,32 %), Кийского (5,9 %) месторождений. Тем не менее, все представленные в статье месторождения высоко рентабельны для современного редкоземельного бизнеса [4].

2. Отличительной особенностью отечественных РЗМ - руд является их большая полиметальность. Стоимость попутных товарных продуктов должна обязательно учитываться при их геолого-экономической оценке [10]. Необходимо организовать комплексное освоение месторождений с извлечением всех полезных компонентов.

3. В настоящее время намечается тенденция к вовлечению в производство РЗМ нетрадиционного для этой отрасли низкоконцентрированного сырья: апатитовых, эвдиалитовых руд, техногенных отходов, что требует пересмотра существующих методов и принципов переработки минерального сырья. В первую очередь, внимание должно быть направлено на создание малоотходных, энергосберегающих технологий, направленных на решение задачи комплексного использования сырья.

ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Наумов А. В. Обзор мирового рынка редкоземельных металлов // Изв. вузов. Цветная металлургия. — 2008. — № 1. — С. 22–31
- [2] Ian M London, P. Eng. «The Delicate Supply Balance and Growing Demand for Rare Earths» // «Magnetics 2010», Orlando, Florida, January 27, 2010.
- [3] Информационно-аналитический электронный ресурс: <http://www.mineral.ru>.
- [4] Ануфриева С.И., Быховский Л.З., Рогожкин А.А. Минеральное редкоземельное сырье России и возможные технологии его переработки // Материалы Всероссийской конференция по редкоземельным материалам «Актуальные вопросы добычи, производства и применения редкоземельных элементов в России РЗМ-2013». Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2013. С. 21-22.
- [5] Кузьмин В.И., Шабанов А.В., Кузьмин Д.В., Калякин С.Н., Шабанов А.В., Анушенков А.Н., Мамонов С.Н. Исследование технологических свойств редкометаллических руд Чукотского месторождения // Материалы Всероссийской конференция по редкоземельным материалам «Актуальные вопросы добычи, производства и применения редкоземельных элементов в России РЗМ-2013». Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2013. С. 23-24.
- [6] Кузьмин В.И. Технологические аспекты переработки редкометаллических руд Чукотского месторождения / В.И.Кузьмин и др. // Химия в интересах устойчивого развития. - 2010. - Т.18 - №3. - С. 331-338.
- [7] Ломаев В.Г., Сердюк С.С. Чукотское месторождение ниобий-редкоземельных руд –приоритетный объект для модернизации редкометаллической промышленности России // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2 (201 4) С.132-154.
- [8] Информационно-аналитический электронный ресурс: <http://www.m-ecopomy.ru>.
- [9] Еханян А.Г. Ресурсная минерально-сырьевая база цветных и редких металлов Красноярского края. / А.Г. Еханян, Б.В. Шибистов, И.И. Курбатов // Природные ресурсы Красноярского края. - 2010. - № 8. - С. 82-89.
- [10] Еханян А.Г., Шибистов Б.В. Минерально-сырьевые центры экономического роста Красноярского края // Природные ресурсы Красноярского края. - 2011. - № 9. - С. 223-230. [11] Литвинова Т.Е. Получение соединений индивидуальных РЗМ и попутной продукции при переработке низкокачественного редкометаллического сырья. Дисс.... докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 2014, 318 с.
- [12] Бондарь М.М. Нерешенная монацитовая проблема. Редкие земли. - 2014. - №3. - С. 25-32.

Секция – 13
Инновационные технологии в машиностроении

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «ЦИКЛ»
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОЙ
СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЯ**

С.В. Гусаков, д.т.н.
Мохсен Ахмадния (Иран), аспирант
Бехджуйан Хоссейн (Иран), аспирант

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрена экспериментально-расчетная методика, положенная в основу программы «ЦИКЛ», для вычисления путевого расхода топлива двигателя внутреннего сгорания комбинированной силовой установки автомобиля, включающей электромеханическую трансмиссию, работающую на постоянной частоте вращения электрогенератора. Показано, что в этом случае путь расход топлива снижается по сравнению с механической коробкой перемены передач.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, комбинированная силовая установка автомобиля, путь расход топлива, повышение эксплуатационной топливной экономичности

При эксплуатации двигатель внутреннего сгорания (ДВС), являющийся силовой установкой легкового автомобиля с механической коробкой перемены передач (КПП), может работать в любых точках поля возможных режимов работы двигателя, ограниченных по частоте вращения: минимально устойчивыми оборотами холостого хода n_{xx_min} и номинальной частотой вращения $n_{ном}$ коленчатого вала, а по нагрузке - внешней скоростной характеристикой рис. 1. Как известно, эффективность поршневого ДВС в значительной степени зависит от нагрузочно-скоростного режима его работы, поэтому в оптимизации режимов работы двигателя транспортного средства кроются резервы повышения эксплуатационной топливной экономичности. Механическая КПП устанавливает жесткую связь между скоростью движения автомобиля и частотой вращения коленчатого вала двигателя, которую можно разорвать, применив последовательную электромеханическую трансмиссию. В этом случае ДВС, вращаю-

щий ротор электрогенератора, может работать при постоянной частоте вращения коленчатого вала n_1 , в то время, как электродвигатель, приводящий колеса автомобиля будет вращаться с различными частотами, требуемыми для обеспечения заданного закона движения автомобиля. Режимы работы ДВС, в этом случае, будут определяться соответствующей выбранной частоте вращения n_1 нагрузочной характеристикой. Ограничением по выбору частоты n_1 является выполнение условия превышения максимальной мощности двигателя на данной частоте вращения коленчатого вала мощности, требуемой для движения транспортного средства в соответствии с заданным законом, например, в соответствии с одним из стандартизированных ездовых циклов (*NEDC*, *FTP-75*, *CJ08* и др.). Выбор частоты n_1 может быть произведен с помощью программы «ЦИКЛ»[2], модифицированной для моделирования работы последовательной электромеханической трансмиссии.

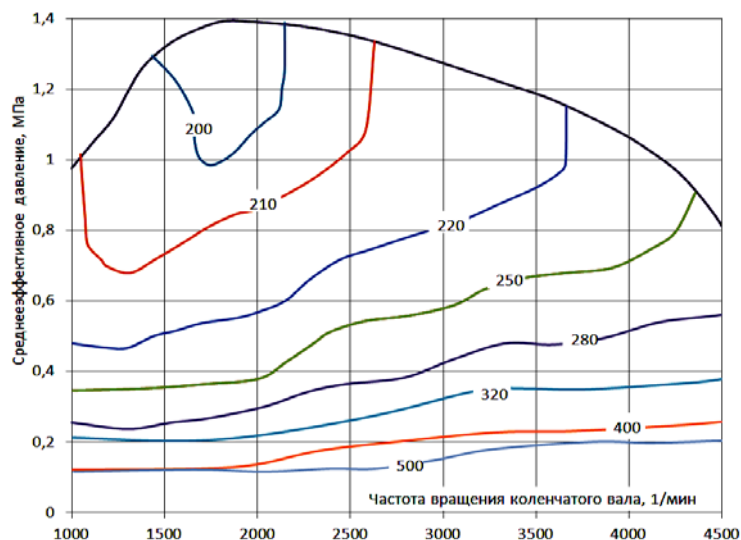


Рис. 1. Универсальная характеристика удельного эффективного расхода топлива $g_e = f(P_e, n)$ автомобильного дизеля *Volkswagen* с турбонаддувом марки *ALH*, рабочим объемом 1,9 л и номинальной мощностью 66 кВт при 4000 мин⁻¹[1]

В качестве транспортного средства моделировался легковой автомобиль класса «В» с дизелем с турбонаддувом *Volkswagen ALHTDI*, экспе-

риментально полученная универсальная характеристика по удельному эффективному расходу топлива которого используется в программе. В качестве испытательного цикла выбран Европейский ездовой цикл *NEDC* (*New European Driving Cycle*), которого придерживается и Российская Федерация, принятый к применению с 1 января 2000 года [3]. Расчет проводился при варьировании значений n_1 в диапазоне от 800 до 2800 мин⁻¹. В качестве результатов расчета были проанализированы следующие параметры:

$$A_{\text{цикл}} = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^K N_{\text{эл}i}$$

1. работа транспортного средства $A_{\text{цикл}}$, совершаемая при движении в соответствии с испытательным циклом, где $\Delta t = 0,1$ сек – шаг расчета; $K = 12000$ – число расчетных шагов для цикла *NEDC*; $N_{\text{эл}i}$ – мощность, затрачиваемая на i -ом расчетном шаге для движения автомобиля;

$$G_{\text{цикл}} = \frac{100}{L_{\text{цикл}}} \cdot \sum_{i=1}^K g_{\text{эл}i} \cdot N_{\text{эл}i} \cdot t_i$$

2. путевой расход топлива $G_{\text{цикл}}$ (кг/100км) при движении в соответствии с испытательным циклом, где $L_{\text{цикл}} = 10,933$ км – путь, «проходимый» транспортным средством при выполнении цикла *NEDC*; $g_{\text{эл}i}$ – экспериментальный удельный эффективный расход топлива двигателя на i -ом расчетном шаге, являющийся функцией нагрузочно-скоростного режима $g_e = f(P_e, n_e)$; $N_{\text{эл}i}$ – мощность, развиваемая двигателем на i -ом расчетном шаге; t_i – время работы в данном нагрузочно-скоростном режиме.

Величина работы транспортного средства $A_{\text{цикл}}$, для исследуемого транспортного средства, есть величина постоянная, но только в том случае, если строго выдерживается график движения автомобиля по ездовому циклу. Если по причине недостатка мощности двигателя на некоторых участках пути не достигается требуемая скорость или ускорение автомобиля, то суммарная работа цикла уменьшается.

На рис. 2 приведены проведенные данные расчетов.

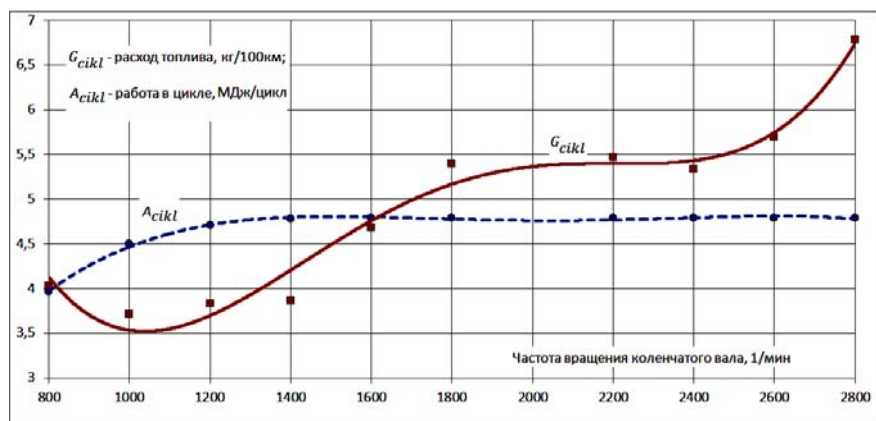


Рис. 2. Работа цикла и путь расход топлива двигателем автомобиля, оборудованного последовательной электро-механической трансмиссией в зависимости от частоты работы мотор-генераторной установки n_1

В качестве контрольного принят путь расход топлива $G_{cikl} = 6,85$ кг/100км, полученный при моделировании автомобиля, оборудованного 5-ступенчатой механической коробкой перемены передач и движении в соответствии с *NEDC*.

Как видно из данных расчета, при частоте работы мотор-генераторной установки n_1 менее 1400 мин^{-1} работа цикла уменьшается, т.е. на таких частотах максимальная мощность двигателя внутреннего сгорания, соответствующая внешней скоростной характеристике, не обеспечивает требуемых скорости или ускорения транспортного средства на наиболее энергос затратных участках движения ездового цикла. Этим частотам соответствует низкий путь расход топлива, но эти режимы не могут быть использованы в качестве рабочих.

При частотах выше 1400 мин^{-1} работа цикла остается постоянной, путь расход топлива растет с ростом рабочей частоты мотор-генераторной установки n_1 . Как видно из универсальной характеристики двигателя (рис. 1) повышенным частотам вращения соответствуют более высокие удельные эффективные расходы топлива, что связано, как с особенностями рабочего процесса, влияющими на индикаторный КПД дизеля, так и с ростом механических потерь (снижению механического КПД с ростом частоты вращения коленчатого вала ДВС).

Если выбрать $n_1 = 1500 \text{ мин}^{-1}$, то путь расход топлива будет равен $4,5$ кг/100км, что существенно ниже показателей, полученных при работе дизеля с механической коробкой перемены передач.

Резюмируя сказанное, можно сделать следующие выводы:

- применение простейшей схемы последовательной электромеханической трансмиссии на автомобиле (ДВС – электрогенератор – блок управления – мотор-колесо) не требует больших затрат на модернизацию транспортного средства;
- эффект от применения комбинированной силовой установке на автомобиле класса «В» дает существенный эффект снижения путевого расхода топлива на 34 %;
- для дальнейшего снижения путевого расхода топлива можно применить двух режимное регулирование частотой вращения мотор-генераторной установки автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Характеристики удельного расход топлива (BSFC) [Электронный ресурс] URL: [http://ecomodder.com/wiki/index.php/Brake_Specific_Fuel_Consumption_\(BSFC\)_Maps](http://ecomodder.com/wiki/index.php/Brake_Specific_Fuel_Consumption_(BSFC)_Maps) (дата обращения: 15.11.2014).
- [2]. Гусаков С.В., Марков В.А., Михрячев Д.В. Испытательный цикл *NEDC* и его соответствие современным условиям эксплуатации автомобилей с бензиновыми ДВС / Автомобильная промышленность. - №9, 2012. - с.47-51.
- [3]. *EmissionTestCyclesECE 15 + EUDC / NEDC* [Электронный ресурс] URL: http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php (дата обращения: 15.11.2014).

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ОТТО И АТКИНСОНА ПРИ РАБОТЕ ДВС НА ЧАСТИЧНЫХ РЕЖИМАХ

С.В. Гусаков, *д.т.н.*
Г.В. Белицкий, *аспирант*
Е.А. Кочеткова, *аспирант*

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрены два рабочих цикла поршневых двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием топливовоздушной смеси: классического цикла Отто и цикла Аткинсона-Миллера, который дает заметное снижение эксплуатационного расхода топлива. Показано, как провести рас-

четно-экспериментальное исследование для получения численной оценки преимуществ применения нового цикла.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, рабочий цикл Отто, цикл Аткинсона-Миллера, снижение эксплуатационного расхода топлива.

В середине XIX века Р. Миллер предложил управлять количеством рабочего заряда в цилиндре, управляя моментом закрытия впускного клапана [1], что концептуально эквивалентно циклу Д. Аткинсона [2], и принято считать, что это открывает пути повышения эффективности рабочего процесса ДВС с искровым зажиганием с количественным регулированием мощности. До последнего времени эти идеи не были востребованы практиками из-за отсутствия надежных механизмов управления моментами открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов на работающем двигателе. Разработка механизмов регулирования фаз газораспределения, типа: *Vanos* фирмы *BMW*, *VTEC* фирмы *Honda* или *VVT* фирмы *Toyota* и др. позволила реализовать выдвинутые Аткинсоном и Миллером идеи в серийных двигателях легковых автомобилей, таких, как *Toyota Prius*, *Mazda Xedos*, *Lexus RX 450h*, *Mersedes ML 450 Hebrid* и др. [3].

Утверждается, что применение двигателей работающих по циклу Аткинсона-Миллера дает заметное снижение эксплуатационного расхода топлива. На рис. 1 показаны циклы Отто и Аткинсона-Миллера. При классической организации рабочего процесса в двигателе с искровым зажиганием (цикл Отто) для уменьшения развиваемой двигателем мощности прикрывается дроссельная заслонка, что приводит к глубокому дросселированию на впуске и увеличению работы насосных ходов (линия 2-3 и затемненная область на левой p - V диаграмме рис. 1). Для осуществления такого же массового наполнения, но при регулировании наполнения фазой закрытия впускного клапана (правая p - V диаграмма рис. 1) раннее закрытие впускного клапана (точка 3' на рис. 1) не приводит к столь глубокому дросселированию и потери на насосные хода снижаются.

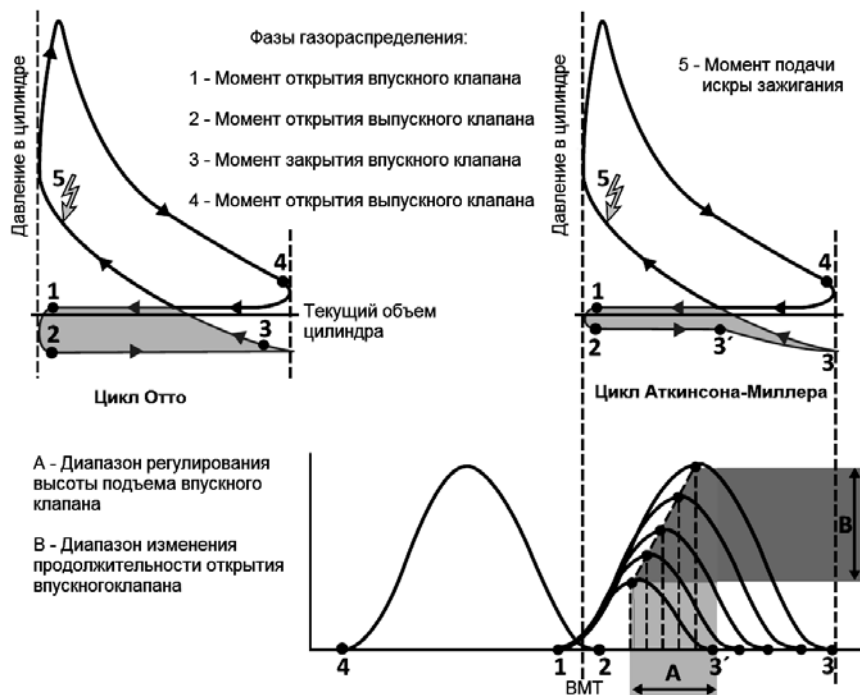


Рис. 1. К объяснению эффекта повышения эффективности рабочего процесса при управлении количеством рабочей смеси путем изменения момента закрытия впускного клапана

После закрытия впускного клапана свежий заряд расширяется и его давление падает (линия 3'-3) за счет продолжающегося движения поршня к нижней мертвой точке. При смене направления движения происходит сжатие заряда. Рабочий заряд работает как пневмопружина, без газодинамических потерь. Некоторые потери (линия сжатия не проходит через точку 3') связаны с тем, что стенки камеры сгорания имеют более высокую температуру на участке насосных ходов и происходит нагрев рабочего тела.

Чем ниже нагрузка, тем больший эффект должен дать цикл Аткинсона-Миллера, т.к. относительная для потерь на насосные ходы по сравнению с полезной работой возрастает.

Более «тонкий» эффект, который может быть реализован при организации рабочего процесса по циклу Аткинсона-Миллера, состоит в следующем. Известно, что, КПД рабочего цикла возрастает при увеличении

степени сжатия. Однако максимальная степень сжатия в двигателях с искровым зажиганием ограничена возникновением нарушений нормального сгорания топливовоздушных смесей – детонацией. Факторами, способствующими возникновению детонации, являются: высокие температуры в процессе сгорания, что характерно для режимов полной нагрузки, низкие частоты вращения и обогащенный состав смеси. На частичных нагрузках возникновение детонационного сгорания маловероятно.

На многих двигателях с циклом Аткинсона-Миллера степень сжатия установлена выше типовых значений для двигателей с циклом Отто. Так у ДВС с искровым зажиганием автомобилей с комбинированными силовыми установками, такими, как *Toyota Prius* геометрическая степень сжатия (ϵ) имеет значение 13,0, у двигателей автомобилей *Ford Escape*, *Mercury Mariner* и *Mazda Tribute* $\epsilon = 12,4$, а у двигателя *Toyota Camry Hybrid* $\epsilon = 12,5$. Повышение степени сжатия при цикле Аткинсона-Миллера позволяет повысить КПД при частичных нагрузках, однако столь высокая степень сжатия послужит причиной возникновения нарушений сгорания при полностью открытой дроссельной заслонке. Поэтому при полной нагрузке эффективная (реальная) степень сжатия должна быть ниже геометрической, что снижая наполнение свежей смесью приводит к уменьшению номинальной мощности двигателя.

Это не является лимитирующим фактором, т.к. современные тенденции совершенствования автомобильных двигателей внутреннего сгорания состоят в том, что мероприятия по снижению эксплуатационного расхода топлива (снижение выбросов CO_2) и выполнению норм по выбросам вредных веществ могут быть связаны со значительным усложнением конструкции ДВС или снижения литровой мощности, как это имеет место при организации *HCCI* процесса [4].

Для исследования резервов повышения топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания, работающих по циклу Аткинсона-Миллера по сравнению с циклом Отто следует провести численный анализ с учетом режимов работы силовой установки при выполнении стандартных ездовых циклов, среди которых нами выбрана, так называемая, новая процедура испытаний *WLTP (Worldwideharmonized Lightvehicles Test Procedures)* для определения эмиссии загрязняющих веществ и выбросов CO_2 (оценки эксплуатационной топливной экономичности) для легковых автомобилей и легких коммерческих фургонов (рис. 2). Она разрабатывается экспертами из стран Европейского Союза, Японии и Индии как правила ЕЭК ООН в области транспортных средств и предполагается к внедрению с октября 2015 года. Процедура предполагает три испытательных цикла в зависимости от уровня энерговооруженности транспортного средства ($PWR = \text{номинальная мощность двигателя} / \text{сна-}$

ряженная масса автомобиля). Нами рассматривается класс 3 - мощные автомобили с $PWR > 34$ кВт/т [5].

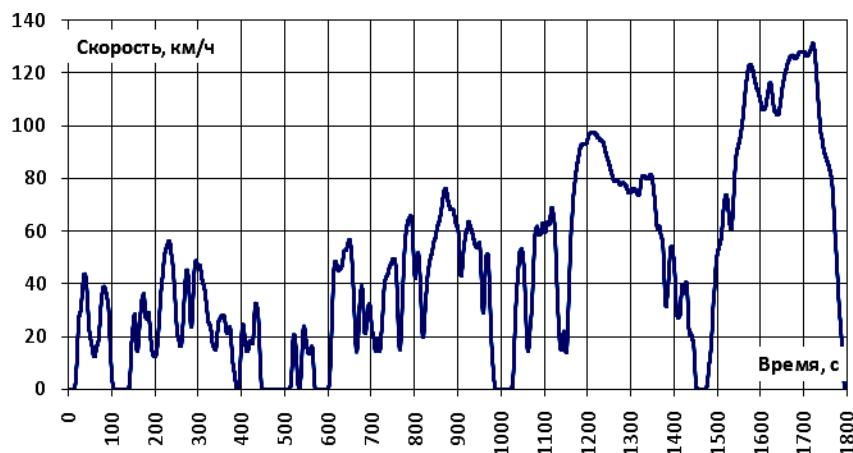


Рис. 2. Испытательный цикл *WLTC*

Для целей анализа может быть использована разработанная на кафедре теплотехники и тепловых двигателей РУДН компьютерная программа, учитывающая условия эксплуатации (ездовые циклы) и реальные характеристики исследуемых двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Miller, R.H. Supercharging and Internal Cooling Cycle for High Output, ASME Transactions, Vol. 69, 1947, P. 453-457.
- [2]. Atkinson J. Gas Engine / US Patent No 367496, Issue Date: August 2, 1887
- [3]. Гусаков С.В. Гибридные силовые установки на основе ДВС: Учебное пособие. - Изд-во РУДН, 2008, 207 с.
- [4]. Gusakov S.V., Vallejo Maldonado, Epifanov I.V., Luis Lastra Espinosa «Use of natural gas-dimethyl ether mixture as fuel for HCCI process in internal combustion engines» Chemical and petroleum engineering, v. 44, № 9-10, 2008, С. 510 – 513.
- [5]. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29/ECE-TRANS-WP29-2014-027e.pdf>

СТЕНД ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РАДИАЛЬНОГО ЕС-ВЕНТИЛЯТОРА

Мамаев В.К., *ст. преподаватель*

Дубенцов К.В., *студент*

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Лабораторная установка (стенд) для аэродинамических и виброакустических испытаний радиального вентилятора знакомит студентов с новыми методами испытаний, современной измерительной аппаратурой и обработкой результатов испытаний.

Ключевые слова: радиальный вентилятор, аэродинамические и акустические характеристики, параметры вибрации.

Аэродинамические и виброакустические испытания вентилятора проводятся с целью получения его аэродинамических и акустических характеристик, определения параметров вибрации на рабочем режиме.

При испытаниях вентиляторов в помещении могут быть различные атмосферные условия, которые влияют на плотность перемещаемого воздуха. Все измеряемые аэродинамические и акустические параметры зависят от плотности ρ перемещаемой среды. Для возможности сравнения характеристик различных вентиляторов и получения безразмерных параметров экспериментально измеренные величины давления и мощности обычно приводят к их значениям при нормальных атмосферных условиях.

Нормальными атмосферными условиями принято считать:

- атмосферное давление – $p_0 = 760$ мм рт. ст. (103300 Па);
- температуру $t_0 = 20^{\circ}$ C ($T_0 = 293$ K);
- относительную влажность $\varphi_0 = 50$ %;
- плотность воздуха $\rho_0 = 1,2$ кг/м³.

Из уравнения состояния Клапейрона следует, что плотность рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{P}{g RT} \quad (1)$$

где g - ускорение свободного падения; R - газовая постоянная; T - температура.

Для проведения испытаний рекомендуют четыре типа стандартизированных установок [1], соответствующих всем возможным компоновкам вентиляторов, установленных в различных вариантах сетей.

- Установка типа А с камерой всасывания: имитирует свободный вход

в вентилятор и свободный выход из него, что соответствует работе вентилятора при вытяжке среды из большого объема.

- Установка типа *B* с трубопроводом на выходе: имитирует свободный вход в вентилятор и выход в нагнетательный трубопровод, в котором расположены элементы сети.

- Установка типа *C* с трубопроводом на входе: имитирует вход из всасывающего трубопровода с элементами сети и свободный выход из вентилятора.

- Установка типа *D* с трубопроводами на входе в вентилятор и выходе из него: имитирует работу вентилятора во всасывающе-нагнетательной системе с произвольным расположением элементов сети.

Как правило, испытания проводятся при различной частоте вращения n для каждого режима. Для приведения объемного или массового расхода Q , статического или динамического напора p , потребляемой мощности N и коэффициента полезного действия вентилятора к заданной номинальной частоте вращения n_n следует использовать следующие формулы [2]

$$\begin{aligned} Q_n &= Q \frac{n_n}{n}; & p_{svn} &= p_{sv} \left(\frac{n_n}{n} \right)^2; & p_{dvn} &= p_{dv} \left(\frac{n_n}{n} \right)^2; \\ p_{vnn} &= p_v \left(\frac{n_n}{n} \right)^2; & N_n &= N \left(\frac{n_n}{n} \right)^3; & \eta_{sn} &= \eta_s; & \eta_n &= \eta \end{aligned} \quad (2)$$

Для построения безразмерной аэродинамической характеристики вентилятора по ГОСТ [3] для каждой точки характеристики определяют безразмерные коэффициенты расхода φ , статического ψ_s , динамического ψ_d и полного ψ давления и потребляемой мощности λ по следующим формулам:

$$\varphi = \frac{Q}{Fu}; \quad \psi = \frac{2p_v}{\rho u^2}; \quad \psi_s = \frac{2p_{sv}}{\rho u^2}; \quad \psi_d = \frac{2p_{dv}}{\rho u^2}; \quad \lambda = \frac{2N}{\rho F u^3}. \quad (3)$$

Здесь $F = \pi D^2/4$ - ометаемая площадь рабочего колеса; $u = \pi Dn/60$ - окружная скорость рабочего колеса; ρ - плотность заторможенного потока при входе в вентилятор.

Лабораторная установка (Рис. 1) с радиальным ЕС-вентилятором R3G450 фирмы **Ebmpapst** (Германия) в виде рабочего колеса (Рис. 2) диаметром 450 мм с загнутыми назад шестью лопатками представляет собой стенд для использования в учебном процессе и проведения НИРС для изучения аэродинамических и акустических характеристик, параметров вибрации.

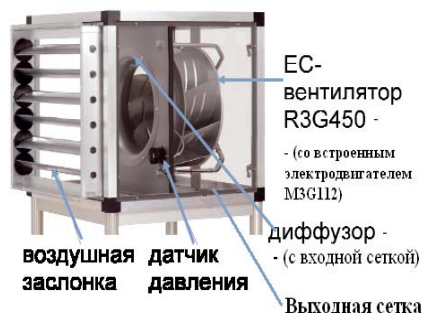


Рис. 1 Испытательный стенд радиального ЕС-вентилятора

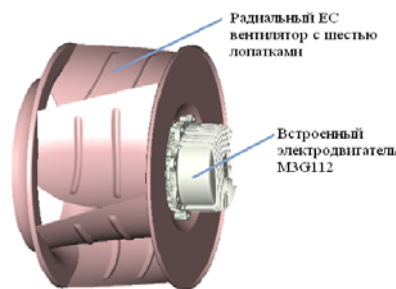


Рис. 2 Радиальный ЕС-вентилятор типа мотор-колесо

Радиальный ЕС-вентилятор открытого типа (без спирального корпуса) имеет бесколлекторный синхронный электродвигатель с внешним ротором и электронным управлением. Электронно-коммутируемый ЕС-электродвигатель обладает высоким КПД до 93%; низким уровнем звукового давления. Коммутационная электроника встроенная в мотор вентилятора позволяет плавно и точно регулировать частоту вращения, имитацию активного давления, программирования режимов работы и пр.

Для измерения давления на входе в рабочее колесо к диффузору установлен датчик давления, который измеряет активное давление ΔP_w (Па), т.е. разницу статических давлений, присутствующих в пространстве перед ЕС-вентилятором и в самом диффузоре, а также датчики температуры на входе и выходе вентилятора.

Измерение акустических и вибрационных параметров ЕС-вентилятора осуществляется измерительно-индикаторным блоком (ИИБ) «Экофизика-НФ» (Рис. 3) и ИЕРЕ-датчиком вибрации по трем осям x, y, z .

Звуковой сигнал от микрофона и колебания от ИЕРЕ-датчика вибрации передаются по кабелям на ИИБ «Экофизика-НФ», а затем на ПК или ноутбук (Рис. 3). Программное обеспечение «Сигнал» позволяет записывать и сохранять уровни звукового давления в октавном, третьоктавном и узкополосном диапазонах частот и параметры вибрации по трем осям (x, y, z).



Рис. 3 Схема виброакустических измерений

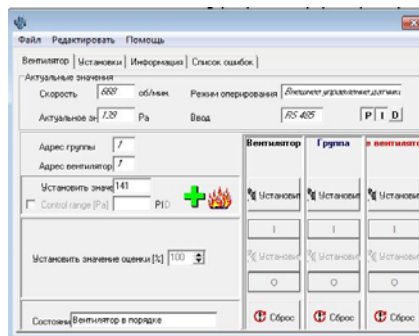


Рис. 4 Режимы управления ЕС-вентилятором с помощью программы LISA5

Управление работой ЕС-вентилятора на разных режимах осуществляется посредством аналого-цифрового преобразователя, используя программное обеспечение LISA5. Программа LISA5 позволяет управлять ЕС-вентилятором в «Режиме регулирования активного давления» и «Режиме регулирования частоты вращения» (Рис. 4) как автоматически, так и в ручном режиме.

По результатам измерений аэродинамических параметров ЕС-вентилятора и соответствующих расчетов по формулам (2) или (3) строятся размерные или безразмерные аэродинамические характеристики, представленные на Рис. 5.

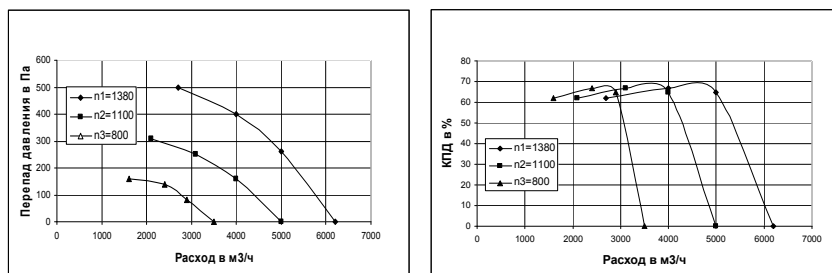


Рис. 5 Аэродинамические характеристики ЕС-вентилятора

В режиме реального времени можно анализировать спектры уровней звукового давления в октавном и третьоктавном диапазонах частот, фиксируя дискретные составляющие на частоте вращения и лопаточной частоте.

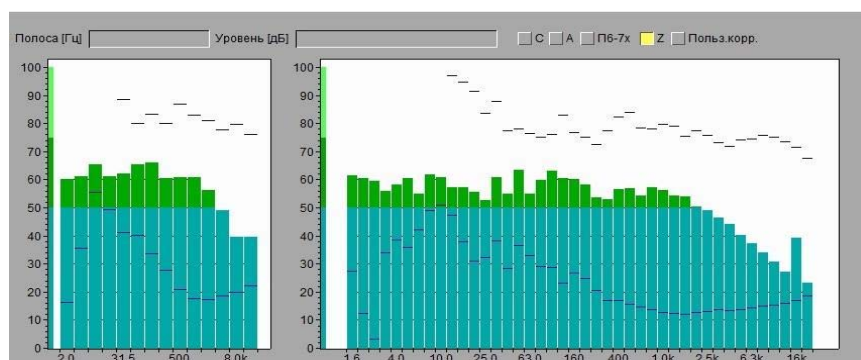


Рис. 6 Спектры уровней звукового давления в октавном и третьоктавном диапазонах

Параметры вибрации по трем осям (x , y , z) с помощью ПЕРЕ-датчика вибрации ЕС-вентилятора, измеренные ИИБ «Экофизика-НФ» в режиме реального времени представлены на Рис. 6. На этом же графике представлен уровень звукового давления, что позволяет одновременно анализировать параметры шума и вибрации ЕС-вентилятора.

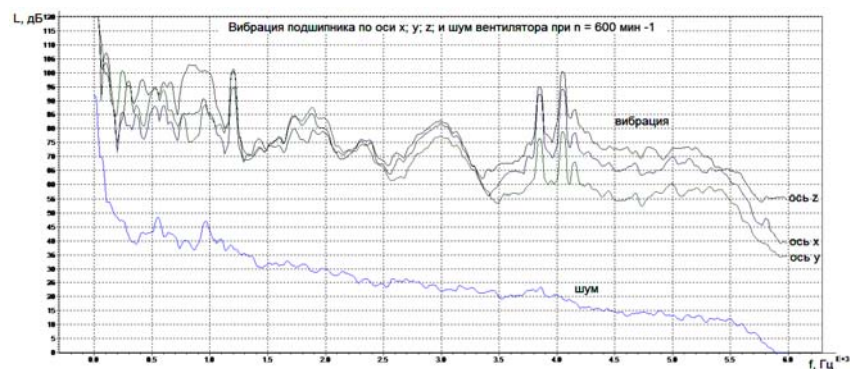


Рис. 7 Вибрация по осям x, y, z и уровень звукового давления (шум) ЕС-вентилятора

Лабораторная установка ЕС-вентилятора созданная с использованием инновационных энергосберегающих устройств типа мотор-колесо позволяет студентам наглядно изучать аэродинамические и акустические

характеристики, параметры вибрации турбомашин и проводить научно-исследовательские работы. Результаты НИРС используются в магистерских диссертациях, на НТК студентов и публикациях в научно-технических журналах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГОСТ 10921-90 Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний.
- [2] Соломахова Т.С., Чебышева К.В. Центробежные вентиляторы. Аэродинамические схемы и характеристики: Справочник – М.: Машиностроение, 1980. – 176 с.
- [3] ГОСТ 10616 – 90 Вентиляторы радиальные и осевые. Размеры и параметры.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА В КОНДЕНСАТОРАХ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН, РАБОТАЮЩИХ В ЧИСТОВЕНТИЛЯЦИОННОМ РЕЖИМЕ

Ю.А. Антипов, *к.т.н. доцент*

Камбиз Сури, *аспирант, Иран*

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей

Российский университет дружбы народов

Ул. Миклухо-Макля, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрен вопрос утилизации теплоты отработавшего пара теплофикационной турбины с полностью закрытой регулирующей диафрагмой (чистовентиляционный режим) при помощи теплонасосной установки (ТНУ), встроенной в выхлопной патрубок. Был проведён тепловой расчёт турбины Т-180/210-130 со встроенной ТНУ. Экономия затрат теплоты только с однопоточного ЧНД турбины составило 420 кВт.

Ключевые слова: регулирующая диафрагма, паровая турбина, теплонасосная установка.

Как известно, современные теплофикационные турбины обеспечивают комбинированный способ производства электрической и тепловой энергии. Такой способ по сравнению с отдельным имеет ряд преимуществ, связанных со снижением удельных затрат теплоты на выработку электроэнергии и как следствие с уменьшением удельных потерь теплоты в холодном источнике. Таким образом, в целях повышения эффективности работы теплофикационной турбины возникла необходимость найти

пути снижения потерь теплоты в конденсаторе и увеличения доли электроэнергии, вырабатываемой на тепловом потреблении. Поставленная цель может быть достигнута либо за счёт полного использования теплоты отработавшего пара для подогрева технологической и сетевой воды в конденсаторах, либо за счёт уменьшения до минимально допустимого значения расхода пара за регулирующей диафрагмой (РД) в части низкого давления (ЧНД) и конденсаторе.

В случае, когда конденсатор используется в качестве подогревателя сетевой воды, оптимальным расходом пара в ЧНД будет такой, при котором будет достигнута максимальная выработка электроэнергии при заданном лимите отпущенной теплоты. Однако, как показали проведённые расчётные исследования [1] оптимальным расходом пара в ЧНД является минимально возможный. Это связано прежде всего с особенностями мощностных характеристик ЧНД, работающей в диапазоне чистовентиляционных режимов (РД полностью закрыта). В этом случае верхняя граница массового расхода пара в первом приближении пропорциональна давлению в конденсаторе, которое возрастает с увеличением температуры сетевой воды в этом конденсаторе [2]. С другой стороны, малопаровые режимы работы ЧНД приводят к резкому возрастанию вибрационных напряжений в рабочих лопатках и повышению температуры вследствие образования вихревого течения вторичных потоков на рабочих лопатках [3].

Таким образом, для достижения максимальной экономичности и надёжности работы теплофикационной турбины при полезном использовании теплоты отработавшего пара целесообразно уменьшить его расход в ЧНД до минимума.

Для отвода теплоты, выделившегося в результате вентиляционных потерь в ступенях ЧВД на практике обычно применяют три основных способа: вентиляционный пропуск пара через щели закрытой РД; применение специального охлаждающего пара в ступенях ЧНД или впрыск конденсата в пространство выходного патрубка [4, 5].

Однако, перечисленные способы исключают возможность использовать теплоту, выделившуюся в результате вентиляционных потерь, непосредственно для нагрева сетевой воды.

Эта проблема может быть решена, путём специального отвода выделенного тепла на нагрев сетевой воды. Одним из таких решений предлагается использовать теплонасосную установку (ТНУ) в тепловой схеме паротурбинной установки (рис. 1). ТНУ содержит последовательно соединённые между собой, испаритель 1, компрессор 2, подогреватель 3 и дроссель 4, подключённый ко входу испарителя 1. В качестве рабочего тела ТНУ можно использовать хладагент R-146В. Испаритель 1 конструктивно расположен по периферии проточной части выходного

патрубка 5 ЧНД. Такое расположение даёт возможность организовать отвод тепла от вихревого потока перегретого пара проходящего в периферийной зоне выходного патрубка 5. Подогреватель 3 установлен перед штатным подогревателем 6 сетевой воды.

Как показали исследования, проведённые на теплофикационной турбине Т-180/210-130, работающей в чистовентиляционных режимах, в зоне периферийной части рабочих лопаток последней 27 ступени ЧНД максимальная температура пара достигает 250⁰С при давлении в конденсаторе 6 кПа и относительном объёмном расходе $\overline{Gv_2} \approx 0,02$ [2]. Абсолютный расход пара в каждой проточной части ЧНД равен $G_{пара} = 1,2$ кг/с теплосодержанием $i_2^{max} = 2987$ кДж/кг. При этом практически весь расход пара в направлении от рабочей лопатки последней ступени к выходному патрубку проходит в периферийной зоне рабочих лопаток с высотой, равной 10% от длины этих лопаток. Поэтому наиболее целесообразно испаритель 1 выполнить рекуперативным в форме тора и расположить его по периферии выходного патрубка непосредственно за последней рабочей лопаткой. В качестве примера был проведён предварительный тепловой расчёт ТНУ с испарителем 1, установленным в выпускном патрубке теплофикационной турбины Т-180/210-130 за последней ступенью ЧНД. Испаритель 1 выполнен в виде пучков из круглых труб, расположенных по периферии патрубка перпендикулярно оси ротора турбины. Для удобства монтажа испаритель 1 разделён на отдельные секции с выведенными на внешнюю сторону выпускного патрубка входными и выходными штуцерами, соединёнными с пучками труб испарителя 1. Наружный диаметр этих труб равен 0.02 м с толщиной стенок 0.002 м. Высота входного окна каждой секции составляет 0.07 м, выходного – 0.15 м и глубина – 1 м. Каждый пучок содержит по 60 трубок, расположенных в шахматном порядке. Сумма теплоты парообразования хладагента R-146В при 70⁰С и теплоты его перегрева до 85⁰С равна $Q_{исп} = 187,3$ кДж/кг. Расход хладагента

$$G_{хл} = \frac{\Delta i_{пар} G_{пар}}{Q_{исп}} = 3 \text{ кг/с},$$

где $\Delta i_{пар}$ – разность энтальпий пара на входе и выходе из испарителя 1. Мощность компрессора со степенью сжатия $\pi_k = 1,25$, необходимая для нагнетания 3 кг/с хладагента в подогреватель 3 с учётом КПД компрессора, равным 0,85, составляет 49,4 кДж/кг.

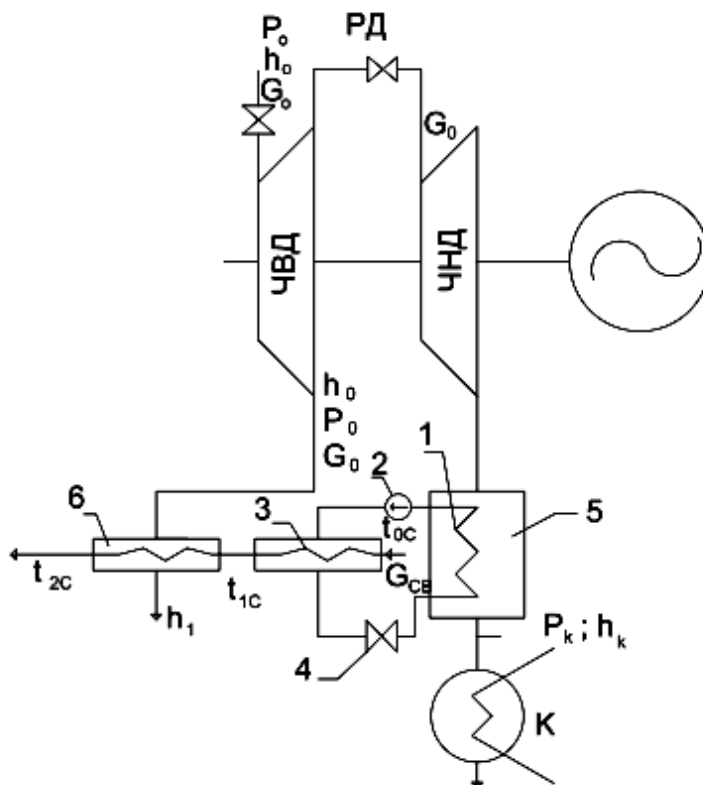


Рис. 1, Фрагмент тепловой схемы теплофикационной паротурбинной установки с ТНУ
Коэффициент преобразования ТНУ равен

$$\mu = \frac{Q_{\text{эи}} G_{\text{оэ}} + N_{\text{эи}}}{N_{\text{эи}}} = 8.7$$

Выводы:

1. Тепловые потери, возникающие только в однопоточном ЧНД теплофикационной турбины Т-180/210-130, работающей в чистовентиляционном режиме могут быть возвращены на нагрев сетевой воды посредством ТНУ и составляют около 420 кВт. При этом коэффициент преобразования ТНУ равен 8.7.

2. Расположение испарителя 1 на периферии выхлопного патрубка практически не повлияет на траекторию течения пара в нём и не приведёт

к заметному снижению КПД ПТУ, работающей в конденсационном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Шапиро Г.А., Эфрос Е.И. Комбинированный моторный режим. – в кн.: Вопросы повышения манёвренности ТЭС и АЭС. Тез. докл. исообщ. Всесоюзн. научн. – техн. совещ. Горловка, 1982, с. 72 – 73.

[2] Эфрос Е.А. Экономичность и надёжность мощных теплофикационных турбин и пути их повышения. –Диссертация на соискание учёной степени д. т. н., Киров, 1998, с. 351.

[3] Вибрационные исследования рабочих лопаток ЦНД мощной паровой турбины /А.Ю. Кондаков, Л.Л. Симою, В.П. Лагун и др. – Теплотехника, 1986, № 1, с. И28 – 31.

[4] А.с. 1250664 (СССР). Способ охлаждения последних ступеней теплофикационных турбин на малорасходных режимах / В.К. Балабанович, Б.Л. Левченко, Ю.Е. Маховко, В.А., Чиж. Н.И. Шкода, Е.В. Сороко, В.В. Михайловский и др. – опубл. в Б.И., 1986, № 30.

[5] Новая система охлаждения ЦНД турбины Т-250/300-240 /С.Н. Иванов, В.А. Хаимов и др. – Теплоэнергетика, 1989, № 6, с.64 – 66.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНДИЦИРОВАНИЯ ДВС

Гусаков С.В., д.т.н, профессор

Новиков В.А., аспирант

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье представлена классификация методов индицирования с описанием их недостатков и преимуществ. Уделено особое внимание методам косвенного индицирования.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, индицирование, рабочий процесс.

Современное двигателестроение направлено на повышение топливной эффективности и безотказности двигателей при эксплуатации, а также уменьшение их влияния на окружающую среду, связанного главным образом с ужесточением требований по содержанию вредных веществ в выхлопных газах. Для удовлетворения всех требований необходимо использовать новейшие микропроцессорные системы управления двигате-

лем. Такие системы могут быть реализованы при максимальной информативности датчиков параметров процесса.

В двигателях внутреннего сгорания химическая энергия топлива превращается в тепловую энергию, а затем из-за изменения давления и объема – в силу. При работе двигателя давление рабочей среды постоянно изменяется, и это изменение давления является наиболее информативным параметром и может быть показано в виде индикаторной диаграммы. Снимаемые индикаторные диаграммы позволяют определять цилиндрическую мощность, показатели механической напряженности двигателя, а обработка и анализ позволяют оценить техническое состояние двигателя, качество его регулировки и экономичность.

Всё разнообразие методов индицирования можно разделить на две группы: прямое индицирование и косвенное индицирование. Однако современные дизельные двигатели с непосредственным впрыском не имеют свечей накаливания. Это обстоятельство делает невозможным осуществление прямого индицирования современных транспортных ДВС. В таких случаях для получения данных о рабочем процессе используются миниатюрные датчики давления, или косвенные методы индицирования. Так, например, американской фирмой «Optrand» были разработаны датчики, которые можно устанавливать в форсунку, свечу накаливания или свечу зажигания. Также австрийская фирма AVL является разработчиком различных тензодатчиков (рис.1) для прямого индицирования. Свеча зажигания со встроенным датчиком давления AVL DPM-800 предназначена для измерения давления с высокой точностью, без нарушения или какого-то влияния со стороны датчика на процессы сгорания в цилиндре. Такая свеча имеет резьбу M10, M12, различную длину а также 3, 5 и 7 различных тепловых диапазонов.



Рис. 1 Свеча зажигания с пьезодатчиком фирмы AVL.

Встроенный в чувствительной части датчика пьезокристалл, а именно GaPO_4 (фосфат галлия) позволяет с высокой точностью определять дав-

ление. Такой датчик может быть полезен не только при конструировании двигателей внутреннего сгорания, но и при чип-тюнинге и диагностике в ремонтных мастерских.

Главной целью разработки датчика фирмы AVL было достичь максимально длительного срока службы в условиях диагностики. Платиновые электроды являются компонентами свечей зажигания, которые имеют достаточную прочность для того, чтобы выдерживать температурные нагрузки в течение длительного времени. При проведении цикла испытаний по 30 000 км свеча зажигания с пьезодатчиком не давала сбоев в работе, что характеризует высокое качество и надежность этих датчиков. Также благодаря модульной структуре конечный пользователь может при необходимости заменить любой компонент свечи-датчика.

Метод прямого индицирования является самым точным по определению давления в цилиндрах двигателя. Однако, как было сказано выше, не всегда есть возможность установить такое устройство с датчиком давления особенно в современный дизельный двигатель с непосредственным впрыском топлива. Кроме того, использование благородных металлов делает стоимость такого датчика очень высокой.

Среди известных методов косвенного индицирования можно выделить следующие:

1. Определение давления путем установки тензодатчиков на уплотнительную прокладку газового стыка;
2. Определение давления в цилиндре путем использования датчиков вибрации и установления соответствия между давлением в цилиндре и вибрацией стенок цилиндра;
3. Использование неравномерности вращения коленчатого вала ДВС для оценки индикаторных диаграмм цилиндров ДВС.

Известен способ косвенного определения давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, основанный на измерении сигналов с тензодатчиков, установленных на уплотнительную прокладку газового стыка [2]. По показаниям датчиков определяется действующее в цилиндре давление. Недостатком известного способа является его невысокая точность при малых давлениях, а также его ограниченная унификация, так как уплотнительная прокладка заменяется при каждом демонтаже головки блока.

Известен способ определения технического состояния ДВС путем измерения напряжений, действующих в шпильках или болтах, передающихся через головку блока цилиндров в результате воздействия на нее сил давления газов, выделения из полученной зависимости сил инерции, внутренних сил и моментов, действующих в осто́ве двигателя [3]. Полученную зависимость от угла поворота или от времени принимают за индикаторную диаграмму цилиндра двигателя, сравнивают эту диаграмму и ее числовые показатели с эталонными и определяют техническое состоя-

ние двигателя. Недостатками такого способа являются невысокая точность идентификации данных и низкая достоверность определения технического состояния двигателя в эксплуатационных условиях из-за использования упрощенной модели, кроме того, погрешности при идентификации данных могут возникать из-за отсутствия корректировки нулевой линии индикаторной диаграммы.

Известен способ стробоскопического индицирования поршневых машин [4]. Согласно этому способу принцип действия индикатора основан на использовании стробоскопического эффекта, позволяющего получить осредненную индикаторную диаграмму, построенную по точкам, взятым из отдельных циклов. Индикатор регистрирует в дискретной форме мгновенную величину давления в цилиндре по заданному положению поршня и производит запись замкнутой индикаторной диаграммы непосредственно в координатах давление-объем. Главным недостатком такого метода является невысокая точность определения давления в цилиндре.

Известен способ [5] определения технического состояния ДВС путем получения косвенной индикаторной диаграммы, основанный на непрерывном измерении в фазе текущих значений угловых ускорений коленчатого вала ДВС, генерировании функций инерционной составляющей ускорения, а также связывающей активные силы в цилиндре с крутящим моментом, выделении составляющей ускорения, отражающей рабочие процессы в цилиндре, вычисления косвенной индикаторной диаграммы. Недостатком известного способа является необходимость установки сложных устройств для измерения неравномерности частоты вращения коленчатого вала и, следовательно, его дороговизна. Кроме того, данный способ не обладает высокой точностью, так как индикаторная диаграмма получается расчетным путем.

Приведенные выше способы косвенного индицирования используются в виде отдельных экспериментальных проработок и не имеют широкую сферу использования, что позволяет исследователям предлагать и разрабатывать новые методы и средства диагностирования двигателей внутреннего сгорания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] http://mstu.edu.ru/science/conferences/anniversary_ntk/materials/section2/section2_4.html
- [2] Sensor for indirect pressure measuring in a cylinder/ Bizjan Francisek, Pavletic Radislav/ /Strojn. Vestn. - 1995, 41; №7-8, С.211-218, словен.,англ.
- [3] ПатентРФ № 2178158, опубл. 2002
- [4] ПатентSU 279134, опубл. 1970
- [5] Пат. РФ 2078324, опубл. 27.04.1997

ОСОБЕННОСТИ ПОДАЧИ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Савастенко А.А., к.т.н., доцент

Ощепков П.П., к.т.н., доцент

Канчерова Д.А., студент

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей

Российский университет дружбы народов

Ул. Подольское шоссе, д. 8, к. 5, Россия, 113093

Рассмотрены физико-химические свойства диметилового эфира. Проведён анализ альтернативных топлив. Определены причины снижения вредных выбросов в отработавших газах при подаче диметилового эфира в дизель.

Ключевые слова: диметиловый эфир (ДМЭ), дизельное топливо, альтернативное топливо, дизель.

Улучшение экологических показателей современного дизеля является важной задачей, которая решается различными путями, в том числе и применением альтернативных топлив. Одной из перспективных альтернатив дизельному топливу, рассматриваемых в последние годы, является диметиловый эфир (ДМЭ). ДМЭ имеет более низкую температуру воспламенения, чем пропан – бутановые смеси, более высокое цетановое число, чем дизельное топливо. По этим причинам ДМЭ является хорошей альтернативой традиционным дизельным топливам. Сгорание ДМЭ в дизельных двигателях характеризуется практическим отсутствием сажи и незначительным количеством окислов азота в выхлопных газах. По уровню загрязнения ОГ при необходимой адаптации дизельные двигатели с использованием ДМЭ могут отвечать современным стандартам. По своим физическим и химическим свойствам, а также по экономическим, экологическим и эксплуатационным характеристикам диметиловый эфир может в XXI веке получить распространение в мегаполисах и курортных зонах.

Физико-химические свойства диметилового эфира (ДМЭ)

При стандартных атмосферных условиях ДМЭ находится в газовом состоянии. По условиям эксплуатации он очень похож на сжиженный нефтяной газ (пропан-бутан), широко используемый для ДВС с искровым зажиганием.

На рис.1. приведено сравнение характеристик ДМЭ, пропана и бутана по давлению насыщенных паров.

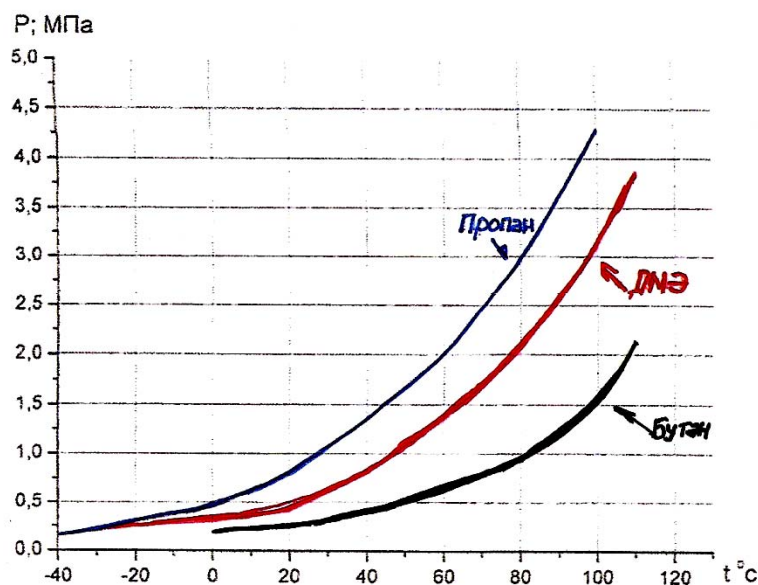


Рис.1 Давление насыщенных паров ДМЭ, пропана и бутана.[3]

ДМЭ быстро испаряется при впрыскивании, что в сочетании с низкой температурой воспламенения и высоким цетановым числом позволяет получить малые задержки воспламенения. Преимуществом низкой температуры испарения является то, что ДМЭ во время впрыскивания достаточно быстро превращается в газ. Следовательно, высокое давление впрыскивания не требуется. Для удовлетворительной работы двигателя давление впрыскивания 20-30 МПа является достаточным.

Важно отметить, что свойства ДМЭ были определены до настоящего времени в диапазоне температур обеспечивающих работу холодильных установок и в нормальных условиях. Диапазон температур определенных условиями рабочих процессов, как в топливной системе, так и в цилиндре дизеля исследован не достаточно полно. Обращаясь к свойствам топлива (табл. 1.), можно предположить, что процесс сгорания ДМЭ отличается от процесса сгорания дизельного топлива (ДТ). Процесс сгорания ДМЭ также вызывается самовоспламенением (воспламенением от сжатия) благодаря его низкой температуре воспламенения, аналогичной ДТ, но диффузионное горение продолжается при полном отсутствии образования сажи благодаря отсутствию связи С-С, повышенному содержанию кислорода в сочетании с высокой скоростью испарения.

Анализ свойств ДМЭ в жидкой фазе показывает, что сам процесс топливоподачи ДМЭ должен отличаться из-за меньшей скорости звука, модуля упругости, плотности и вязкости. Из-за склонности ДМЭ к кавитации струя топлива выходит из форсунки с большой долей газовой фазы, и смесь формируется в более короткий период, чем при работе на дизельном топливе.

Таблица 1

Физические и химические свойства топлив

Характеристика	ДМЭ	Дизтопливо	Метанол	Этанол	Метан
Химическая структура	$\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$	-	$\text{CH}_3\text{-OH}$	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	CH_4
Низшая теплота сгорания (H_u), МДж/кг	27,6 ¹	42,5	19,5	25,0	50,0
Вязкость, мм ² /с	0,15-0,23	2-4	-	-	-
Плотность, кг/м ³	660	840	790	810	-
Цетановое число	более 55	40...55	5	8	-
Температура самовоспламенения, °С	235	250	450	420	650
Октановое число	-	-	111	108	130
Стехиометрическое соотношение l_o , кг.в./кг.т.	9	14,6	6,5	9,0	17,2
Модуль упругости, МПа	470	1200	-	-	-
Скорость звука, м/с	840	1210	-	-	-
Температура кипения, °С	- 25	180...370	65	78	-162
Теплота испарения, кДж/кг	460 при - 20 °С	250	1110	904	-
Пределы взрываемости (% паров топлива в воздухе)	3,4...18	0,6...6,5	5,5...26	3,5...15	5...15
Содержание углерода, %	52,2	86,0	37,5	52,2	75,0
Содержание водорода, %	13,0	14,0	12,5	13,0	25,0
Содержание кислорода, %	34,8	0	50,0	34,8	0

¹ в отдельных публикациях приводятся различные величины H_u (от 27,6 до 28,8 МДж/кг)

Анализ характеристик ДМЭ в сравнении с другими топливами (см. табл.1.) показывает, что ДМЭ благодаря высокому цетановому числу (более 55) может использоваться в качестве топлива для дизелей, а высокое содержание кислорода в ДМЭ позволяет получить практически бездымный процесс сгорания. Важно отметить, что теплота сгорания топливовоздушной смеси у ДМЭ даже несколько выше, чем у ДТ: так при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1$ у ДМЭ $H_u/l_o=88,15\text{кДж/кМоль}$ у ДТ $H_u/l_o=84,46\text{кДж/кМоль}$.

Элементный состав ДМЭ, отличающейся большей долей водорода (см. табл.1.), предполагает меньший выброс CO_2 , так при условии полно-

го сгорания, принимая $H_{уд} = 27,6$ МДж/кг, уменьшение CO_2 по сравнению с ДТ составляет 7,8%.

Однако, как топливо для дизелей ДМЭ имеет ряд существенных недостатков. Из-за низкого давления насыщенных паров необходимо принять специальные меры, чтобы содержать это топливо в жидком состоянии в топливном баке и подавать его в топливную систему в жидкой фазе. А также избежать утечек паров топлива, которые могут привести к созданию взрывоопасной смеси при повышении концентрации ДМЭ в воздухе свыше 3,4%. Это означает, что работа на топливе ДМЭ требует таких же мер предосторожности, как и работа на сжиженном природном газе. По плотности и теплоте сгорания ДМЭ сопоставим со спиртами, что требует увеличения объемной дозы подаваемого топлива по сравнению с дизельным топливом [1].

На рис.2. показаны относительные выбросы и шум (механический от сгорания) дизельного двигателя, работающего на ДТ в сравнении с теми же показателями при работе на ДМЭ с 30% степенью рециркуляции отработавших газов без последующей очистки выхлопных отработавших газов. Использование ДМЭ позволяет работать с дымностью, близкой к нулю при одновременно низком уровне NO_x , без уменьшения КПД двигателя. Отсутствие дыма объясняется отсутствием связей углерод-углерод в топливе и 35% по массе содержания кислорода [2].

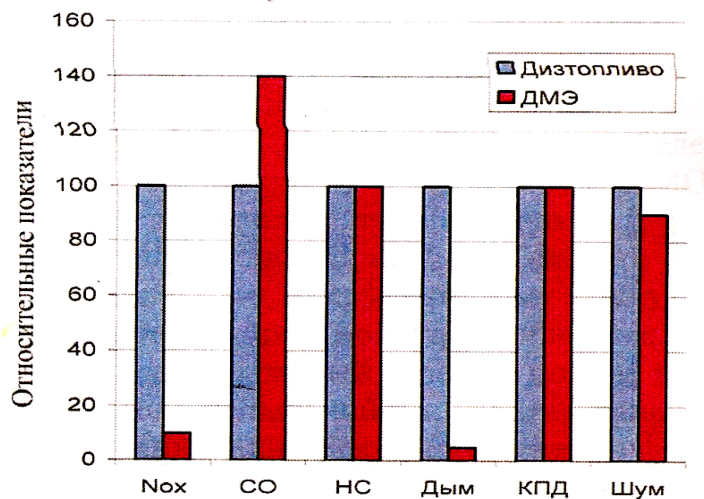


Рис.2. Сравнительные показатели дизельного двигателя при работе на ДТ и ДМЭ

Отсутствие серы в ДМЭ и очень низкая концентрация частиц в отработавших газах (ОГ) позволяют, с точки зрения надежности и срока службы, использовать рециркуляцию ОГ и нейтрализаторы, применение которых при работе на ДТ осложняется из-за возможного засорения твердыми частицами.

Большие экспериментальные исследования по проверке мощности, экономичности и экологических показателей дизелей при работе на ДТ и ДМЭ проводились в НИИД и АМО ЗИЛ на дизеле Д-245 (по 13-ступенчатому циклу по правилам №49-02 ЕЭК ООН) [1]. Здесь было определено влияние давления начала подъема иглы форсунки и площади ее проходного сечения на показатели рабочего процесса дизеля. Для предотвращения образования паровых пробок (вследствие вскипания ДМЭ) на входе в топливный насос высокого давления (ТНВД) давление подкачки должно быть повышено. Основными недостатками ДМЭ является малая кинематическая вязкость (на порядок меньше, чем у ДТ) и связанная с этим пониженная смазывающая способность, в результате чего затрудняется герметизация подвижных узлов уплотнения топливной аппаратуры (ТА), а также повышается склонность к задирам прецизионных пар. Для устранения этого недостатка в конструкции ТА принимаются специальные меры, например, подвод к плунжерным парам масла под давлением с целью их уплотнения, а также подмешивание к ДМЭ специальной противозадирной присадки «Любризол 459А». Однако, присутствие данной присадки приводит к некоторому росту выбросов СО и СН. Так, выбросы СО увеличиваются на 8%, а углеводородов СН – 13%. При этом выбросы окислов азота NO_x снижаются на 3,5%. Применение каталитических нейтрализаторов позволяет существенно уменьшить выбросы СО и СН. Снижения выбросов СО можно также добиться путем оптимизации процессов топливоподачи и смесеобразования.

Наиболее подробный цикл исследований свойств ДМЭ проведен в последнее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре Э-6 под руководством А.А. Жердева [1], а также профессором Г.М. Камфером. Вместе с тем не рассмотрены важные, с точки зрения организации процессов топливоподачи и теплоиспользования, свойства ДМЭ (например, скорость звука, скрытая теплота парообразования, поверхностное натяжение, отношение теплоемкостей C_p/C_v и др.).

Таблица 2

Физические и химические свойства топлив

		Дизтопливо	Пропан	н-бутан	ДМЭ
Химическая формула		-	C_3H_8	C_4H_{10}	CH_3-O-CH_3
Мольный вес	г/моль	208	44,15	58,13	46
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	42,5	46,36	45,74	27,6
Вязкость	кг/(мс)	2-4	0,15	0,18	0,15

Плотность при 20 ⁰ С	кг/м ³	840	501	610	660
Цетановое число		40-55	5	12	более 55
Октановое число		-	111,5	95	-
Точка кипения	⁰ С	180-360	-42,1	-0,5	-25
Стехиометрическое соотношение l_0	кг/кг	14,56	15,8	15,6	9,0
Температура самовоспламенения	⁰ С при 1 атм	250	470	365	235
Теплота парообразования	кДж/кг	210-250	426	385	460 при -20 ⁰ С 410 при 20 ⁰ С
Содержание углерода	%	86,0	82	82,7	52,2
Содержание водорода	%	14,0	18	17,3	13,0
Содержание кислорода	%	0	0	0	34,8

Наличие кислорода в молекуле ДМЭ и связанное с этим пониженное $l_0=9$ приводит к уменьшению поверхности пламени в цилиндре дизеля и, следовательно, к снижению выбросов оксида азота (NO_x). Кроме того, снижению выбросов NO_x способствует в 2 раза более высокая скрытая теплота парообразования «г». При нормальных условиях ДТ имеет $\tau = 190 \div 220$ кДж/кг, в то время как ДМЭ около $427 \div 433$ кДж/кг. В связи с этим, при испарении ДМЭ рабочее тело охлаждается более интенсивно, что способствует снижению температуры в цилиндре и выбросов NO_x. Меньшая теплоемкость и лучшее распыливание (диаметр капель ДМЭ в 2 раза меньше капель ДТ) объясняют факт не высоких давлений впрыскивания топлива в цилиндр дизеля.

С точки зрения организации рабочего процесса топливной аппаратуры важную роль играют такие свойства ДМЭ как высокое давление насыщенных паров, меньший (примерно в 2-2,5 раза) модуль упругости, а также меньшие величины: низшей теплоты сгорания, плотности и вязкости. Эти свойства приводят к тому, что применение штатной топливной системы требует серьезной адаптации. Если вопросы организации процессов в линии низкого давления топливной системы (ТС) изучены достаточно подробно [4], то особенность рабочего процесса линии высокого давления топливной аппаратуры (ТА) требуют дальнейшего исследования. Так, например, в совместной работе МАДИ и НАМИ использование штатной топливной аппаратуры дизеля 1С12/12 с существенно увеличенным эффективным проходным сечением распылителя (с 0,205 мм² до 0,36 мм²) продолжительность впрыскивания ДМЭ увеличилась (по сравнению с работой на ДТ) в 1,4 ... 1,5 раза [3]. Такое растягивание подачи топлива и процесса сгорания не желательно со всех точек зрения. В работах МАДИ [2] показано также, что низкие модули упругости и вязкость ДМЭ приводят к существенному снижению цикловых подач, что особенно сказывается на режимах пуска и осложняет запуск дизеля. Направивается

целесообразность оптимизации ТА и сравнения экологических показателей дизеля со штатной и оптимизированной ТА.

Однако, как топливо ДМЭ имеет ряд существенных недостатков. Из-за низкой температуры кипения ДМЭ (-20 С) необходимо принять специальные меры, чтобы содержать это топливо в жидком состоянии в топливной системе. Также избежать утечек паров топлива, которые могут привести к созданию взрывоопасной смеси при превышении концентрации ДМЭ в воздухе свыше 3,4%. Это означает, что работа на топливе ДМЭ требует таких же мер предосторожности, как и работа на сжиженном нефтяном газе. По плотности и теплотворной способности ДМЭ сопоставим со спиртами, что требует увеличения объемной дозы подаваемого топлива по сравнению с дизельным топливом. Важно также отметить малую вязкость ДМЭ и, следовательно, необходимость использования противоизносных присадок. Некоторые эластичные материалы, используемые обычно для уплотнений в ТС, химически не совместимы с ДМЭ и требуют замены.

Анализ методов гидродинамического расчета топливной аппаратуры (ТА), учитывающий двухфазное состояние ДМЭ показывает, что использование штатной ТА даже с существенно увеличенным проходным сечением распылителя приводит к значительному растягиванию впрыскивания и дефициту требуемых цикловых подач на режимах пуска дизеля. Газовая фаза в ДМЭ оказывает большое влияние на модуль упругости, плотность, давление и температуру топлива.

Особенно подробно метод гидродинамического расчета двухфазного состояния топлива описан в работах Голубкова Л.Н. (МАДИ) [3], где основными являются три уравнения (неразрывности, уравнение движения вязкой жидкости и уравнение Тета). Данные уравнения решаются совместно с уравнениями граничных условий и с учетом начальных условий. Полученная расчетная оптимизация ТА конкретного дизеля (2Ч10,5/12) при работе на ДМЭ и ДТ на режиме номинальной мощности показала необходимость увеличения объемной скорости плунжера ТНВД и одновременное в 1,6 раза увеличение проходного сечения распылителя, что позволяет, не снижая давление впрыскивания сократить продолжительность впрыскивания ДМЭ в 1,5 ÷ 1,6 раза, доведя ее до уровня продолжительности впрыскивания ДТ со штатной ТА, что позволило существенно снизить выбросы NO_x. Сокращение выбросов CO₂ на 10-20% при переходе с ДТ на ДМЭ объясняется уменьшением доли углерода в молекуле и увеличении доли водорода.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ литературы показал, что технические и экономические предпосылки для применения ДМЭ в дизелях позволяют считать его возможной альтернативой ДТ. Существуют раз-

личные методики расчета, позволяющие определять свойства ДМЭ при невозможности проведения прямых экспериментов.

При подаче ДМЭ в камеру сгорания дизеля необходимо уточнять метод гидродинамического расчета ТА, где одним из основных факторов является доля газовой фазы.

Основными причинами снижения выбросов NO_x при подаче ДМЭ в дизель являются:

- В два раза большая скрытая теплота парообразования по сравнению с ДТ, что более существенно охлаждает рабочее тело в цилиндре и уменьшает температуру пламени;
- Наличие связанного кислорода в молекуле приводит к уменьшению зоны пламени и, соответственно, к снижению NO_x
- Более высокое ЦЧ ДМЭ способствует уменьшению периода задержки воспламенения и уменьшению максимальной температуры сгорания.

Кроме того, анализ свойств ДМЭ показал, что меньшие, чем у ДТ и поверхностного натяжения (более чем в 3 раза) и вязкость (более чем в 20 раз), а также более развитая кавитация при истечении через отверстия распылителя форсунки обеспечивают более мелкое распыливание при подаче ДМЭ в цилиндр дизеля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рыжкин С.В. «Анализ и расчет свойств диметилового эфира и улучшение экологических показателей дизеля путем адаптации топливной аппаратуры» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МАДИ, 2009г, 163с.
- [2] Голубков Л.Н., Рыжкин С.В. «Разработка и исследование топливных систем для дизелей, использующих в качестве топлива диметиловый эфир // Тракторы и сельхозмашины, №6, 2008, с. 6-10.
- [3] Голубков Л.Н., Эсмаилзаде Э., Адамов В.В. Некоторые результаты адаптации топливной аппаратуры дизеля для работы на диметиловом эфире. //Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса. Сборник научных трудов М.:МАДИ (ГТУ) 2006.-с.21-31.
- [4] Патрахальцев Н.Н., Альвеар Санчес Л.В. «Пути развития топливных систем для подачи в цилиндр дизеля нетрадиционных топлив»//Двигателестроение . 1988.-с. 11-13.

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ САЖИ АВТОТРАКТОРНЫМ ДИЗЕЛЕМ

Н.Н. Патрахальцев, *д.т.н., профессор*
Д.С. Скрипник, *аспирант*

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российского университета дружбы народов
117198, Москва, ул. Миклухо – Маклая, 6.

Статья посвящена анализу возможностей снижения дымности выбросов двухцилиндрового дизеля, работающего на режимах малых нагрузок и регулируемого отключением одного цилиндра. Для анализа применена расчётно-экспериментальная методика оценки как экономичности, так и экологичности дизеля, основанная на использовании экспериментальных многопараметровых характеристик двигателя.

Ключевые слова: дизель, дымность, малые нагрузки, характеристики дизельного двигателя.

Автотракторные дизели длительное время работают на режимах малых нагрузок и холостых ходов, при которых существенно ухудшаются показатели экономичности, токсичности и дымности выбросов. Одним из методов повышения экономических и экологических качеств дизелей на таких режимах является метод отключения части цилиндров или циклов [1]. В этих случаях при сохранении исходной нагрузки дизеля нагрузка на активные (оставшиеся в работе) цилиндры возрастает, что приводит к росту удельной экономичности, снижению токсичности выбросов.

В данной работе оценка возможности повышения экономичности и снижения дымности выбросов двухцилиндрового дизеля Д-120 (2 Ч 10,5/12) при отключении цилиндра проведена с использованием разработанной ранее [2] экспериментально – расчётной методики. Методика основана на применении экспериментальных универсальных характеристик дизеля, на которых нанесены параметрические кривые постоянных удельных расходов топлива, а также постоянных концентраций углерода (сажи) в ОГ дизеля в функции от частоты вращения вала и нагрузки. А именно: $g_e, C_C = f(n, p_e \text{ (или } M_e))$.

При некотором режиме малой нагрузки (МН) полноразмерный дизель развивает определённый крутящий момент (мощность, среднее эффективное давление). При отключении части цилиндров (на режимах малых нагрузок, т.е. ниже ~40 % от полной) момент и мощность дизеля сохраняются. При этом применение понятий среднего эффективного давления p_e теряет физический смысл. Но сохраняется понятие неизменной полной работы ($L_{\text{полн}}$), выполняемой дизелем, как полноразмерным (с числом

цилиндров i), так и с частью отключённых (деактивированных) цилиндров, т.е. с числом активных цилиндров z . Полная работа дизеля определяется соотношениями:

$$L_{\text{полн}} = 2 \cdot \pi \cdot M_e \quad (1)$$

или

$$L_{\text{полн}} = 500 \cdot p_e \cdot i \cdot V_h \text{ Дж} \quad (2)$$

Тогда на данном режиме удельная работа полноразмерного дизеля составляет $L_{\text{уд}} = L_{\text{полн.}} / (i \cdot V_h) \text{ Дж/дм}^3$, а дизеля с частью отключённых цилиндров $L_{\text{уд}} = L_{\text{полн.}} / (z \cdot V_h) \text{ Дж/дм}^3$, где $V_h \text{ дм}^3$ – рабочий объём одного работающего цилиндра. На штатных универсальных характеристиках ординаты p_e или M_e заменяются ординатами удельной работы $L_{\text{уд}}$, выполняемой двигателем как полноразмерным, так и при отключении цилиндра или цилиндров. Используемые далее универсальные характеристики полноразмерного дизеля заимствованы из работы [3].

Расчёты массовых выбросов сажи в час проводятся по следующему соотношению.

$$G_c = C_c \cdot V_{\text{ог}}; \quad (3)$$

где:– G_c – массовые часовые выбросы сажи (г/ч);

C_c – концентрация токсичного компонента в ОГ (г/м³);

$V_{\text{ог}}$ – объёмный расход отработавших газов (либо полноразмерного дизеля, либо только активных цилиндров) м³/ч.

Удельные выбросы сажи рассчитываются по формуле

$$G_c = \Sigma(G_c) / \Sigma(N_e) \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}, \quad (4)$$

N_e – эффективная мощность на данном режиме. Для полноразмерного дизеля часовой расход топлива равен:

$$G_{\text{т}} = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3} \text{ кг/ч}; \quad (5)$$

где g_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч).

$$G_{\text{ОГ}} = G_{\text{в}} + G_{\text{т}} = i \cdot V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{в}} \cdot n \cdot 10^{-3} \cdot 30 + G_{\text{т}} \text{ кг/ч}, \quad (6)$$

$$V_{\text{ог}} = i \cdot V_h \cdot \eta_v \cdot n \cdot 10^{-3} \cdot 30 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7)$$

где η_v и $\rho_{\text{в}}$ – коэффициент наполнения и плотность воздуха.

На рис. 1 показана универсальная характеристики дизеля Д-120 и схемы операций определения величин удельных расходов топлива (g_e) при работе дизеля на данном режиме МН и отключении одного цилиндра.

Пусть полноразмерный дизель при частоте вращения 1000 мин^{-1} работает с малой нагрузкой, выполняя полную работу ($L_{\text{полн}}$), равную 130 Дж. Следовательно, удельная работа ($L_{\text{уд}}$), выполняемая полноразмерным дизелем, равна $62,5 \text{ Дж/дм}^3$, а удельный эффективный расход топлива (см. рис. 1) – порядка $380 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$. При отключении одного цилиндра на том же скоростном режиме при неизменности полной работы удельная работа, выполняемая двигателем, возрастает до 125 Дж/дм^3 , удельный расход топлива снижается до $\sim 290 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$. Следовательно экономичность дизеля может в этом случае возрасти на $\sim 23 \%$

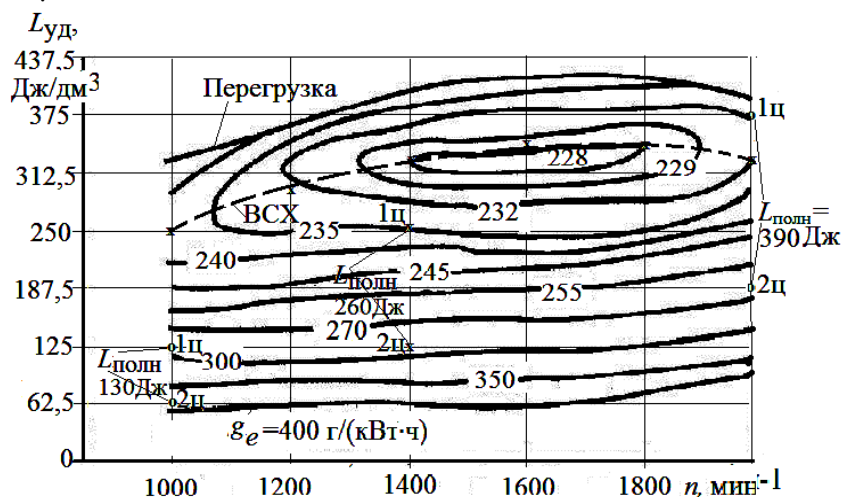


Рис. 1. Универсальная характеристика дизеля типа Д-120 (2 Ч 10,5/12) по удельному расходу топлива g_e в координатах удельной работы $L_{\text{уд}}$ – частоты вращения n ; схема определения g_e при работе на двух или одном цилиндрах (2ц или 1ц) при выполнении одинаковых полных работ ($L_{\text{полн}} = 130, 260, 390 \text{ Дж}$ при частотах вращения $1000, 1400, 2000 \text{ мин}^{-1}$).

Аналогичной обработкой получаем, что на режиме полноразмерного дизеля, выполняющего полную работу, равную, например, 260 Дж при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$, отключением цилиндра можем ожидать выигрыш в удельном расходе топлива, равный $\sim 19 \%$. На режиме номинальной частоты вращения, выключая цилиндр при полной работе 390 Дж, ожидаем выигрыш в удельном расходе топлива порядка 12 %. Очевидно, что при этом аналогичным образом снижаются часовые расходы топлива, так как на-

грузочные режимы в каждом из рассмотренных случаев сохраняются неизменными для полноразмерного дизеля и дизеля с отключением цилиндра.

Значения 130, 260 и 390 Дж при $n = 1000, 1400$ и 2000 мин^{-1} выбраны случайными и составляют в сравнении со значениями на внешней скоростной характеристике (ВСХ) соответственно 25, 38 и 57 %. Аналогичным образом проводится обработка универсальной характеристики по дымности ОГ (K_x) (рис. 2), которая затем пересчитывается в концентрации сажи (C_c).

При этом объёмный расход ОГ уменьшается, т.к. он определяется работой активного цилиндра, а значит, возникает вопрос о степени влияния отключения цилиндров на удельные и суммарные выбросы токсичного компонента ОГ дизеля, регулируемого изменением его рабочего объёма.

Для пересчёта её в шкалу объёмной концентрации сажи (C_c) в ОГ при расчётах воспользуемся аппроксимирующей зависимостью перевода шкалы «Хартридж» в шкалу концентраций сажи при достаточно высокой надёжности аппроксимации.

$$C_c = 0,0013 \cdot ((K_x/10) + 1)^3 - 0,0112 \cdot ((K_x/10) + 1)^2 + 0,0774 \cdot ((K_x/10) + 1) - 0,0765. \quad (8)$$

$$R^2 = 0,998$$

(Удельная работа будет, конечно, разной). Здесь

$$\Delta g_e = ((g_e - g_{e,z}) / g_e) \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где g_e и $g_{e,z}$ – удельные эффективные расходы топлива соответственно полноразмерным дизелем и дизелем, работающим на одном активном цилиндре.

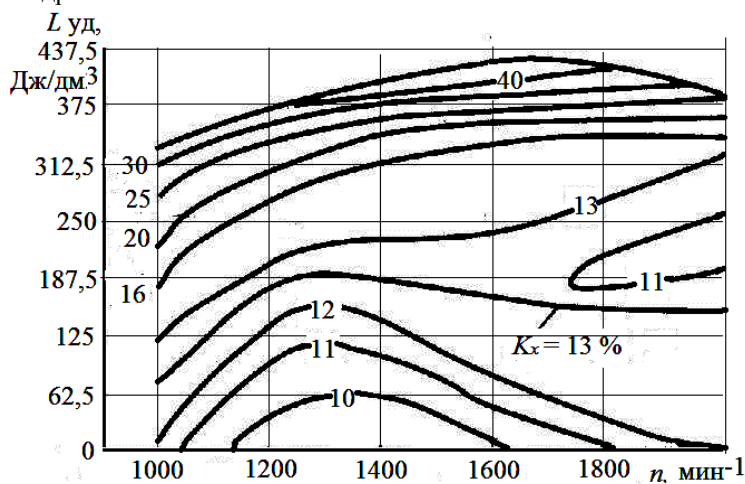


Рис. 2. Универсальная характеристика дизеля типа Д-120 (2 Ч 10,5/12) по величинам дымности (в единицах «Хартриджа») отработавших газов (K_v) в координатах удельной работы ($L_{уд}$) – частоты вращения (n).

В результате расчётов построены скоростные характеристики по выигрышам в удельных эффективных расходах топлива (Δg_e) дизеля с отключённым цилиндром относительно расходов полноразмерного дизеля при выполнении одинаковой для данного режима полной работы (рис. 3).

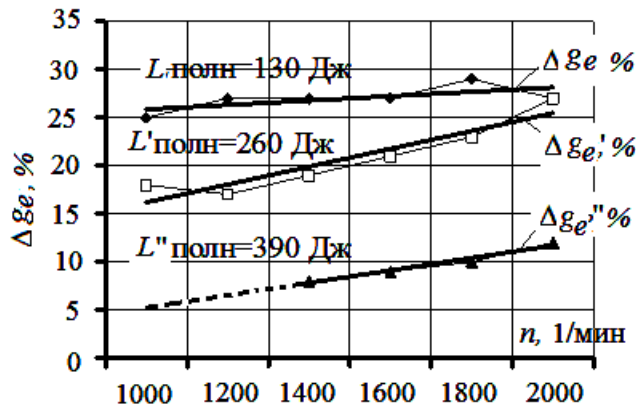


Рис. 3. Выигрыши в удельных расходах топлива (Δg_e) при работе дизеля Д-120 на одном цилиндре в сравнении с расходами при работе двух цилиндров на малых нагрузках и выполнении полных работ $L_{полн}=130$ Дж, $L'_{полн}=260$ Дж, $L''_{полн}=390$ Дж.

Важно, что одновременно со снижением расхода топлива при отключении цилиндра происходит уменьшение выбросов сажи (рис. 3).

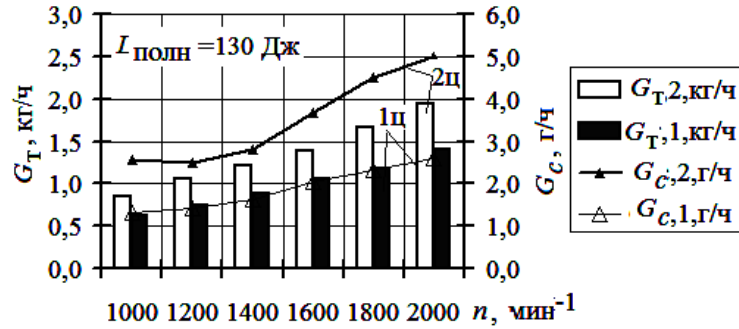


Рис. 3. Скоростные характеристики изменения часового расхода топлива (G_T , кг/ч) и часовых выбросов сажи (G_c , г/ч) дизелем Д-120 при работе с малой нагрузкой ($L_{полн}=130$ Дж) на двух (2ц) и одном (1ц) активных цилиндрах.

Приведённые примеры полученной информации показывают, что методика хорошо коррелируется с теоретическими представлениями об особенностях изменения показателей работы дизеля при изменении нагрузки, частоты вращения, коэффициента избытка воздуха. Следует отметить, что полученные количественные показатели, особенно в части расхода топлива, отражают идеальные условия протекания процессов, в том числе при мгновенном включении - выключении цилиндра. Если учесть возможные ограничения по времени включения – выключения цилиндра, по возможному изменению теплового состояния двигателя, по ограничениям рабочих диапазонов частот вращения из-за опасностей вибраций, возможностей входа в резонанс и т.д., то достижимый эффект по экономии топлива и т.д. может быть снижен на величину до 40 % от полученного по данной методике [4].

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Балабин В.Н. Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров. Монография. – М.: ГОУ «Учебно - методический центр по образованию на ж. д. транспорте». – 2007. - 143 с.
- [2]. Анализ возможности снижения расхода топлива и токсичности выбросов дизеля на режимах малых нагрузок / Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко, Т.С. Аношина, Р.О. Камышников //Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. - № 6 (42). – С. 51 – 56.
- [3]. Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. - М.: ООО "ИРЦ Газпром". 2007. - 480 с. - С. 59.
- [4]. *Peters G.F. A Cylinder deactivation on 4 cylinder engines. A torsional vibration analysis. DCT 2007 – 11. – February 15, 2007. - P. 10 – 15, 39.*

МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

И.К.Шаталов, к.т.н. профессор

Ю.А. Антипов, к.т.н. доцент

Е.В.Собенников, ассистент

Камбиз Сури, аспирант, Иран

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности использования топлива для теплоснабжения с помощью многоступенчатой теплонасосной установки, отличающейся инновационной тепловой схемой ТНУ,

обеспечивающей повышенный коэффициент полезного действия тепловой машины. По предлагаемой модели многоступенчатой теплонасосной установки получено авторское свидетельство на полезную модель.

Ключевые слова: Многоступенчатая теплонасосная установка, низкопотенциальный источник теплоты, компрессионная ТНУ

В настоящее время с постоянным повышением цен энергоресурсы всё большее значения в теплоэнергетике приобретают новые энергосберегающие технологии, одним из которых стало использование многоступенчатых теплонасосных установок (ТНУ) особенно в тех случаях, когда необходимо получить высокопотенциальный источник теплоты исключительно из низкопотенциального источника энергии, например, тепло окружающей среды.

В качестве примера работы трёхступенчатой ТНУ была выбрана установка, работающая на хладагенте фреон R142b (Рис.1). В качестве нагреваемого рабочего тела применена вода с начальной температурой $T_{В0} = T_{Н1} = 20$ °С. Давление насыщенных паров фреона R142b при $T_0 = 20$ °С равно $P_0 = 0.2904$ МПа, - при $T_1 = 40$ °С равно $P_1 = 0.5275$ МПа, при $T_2 = 60$ °С равно $P_2 = 0.888$ МПа и при $T_3 = 80$ °С равно $P_3 = 1.408$ МПа. КПД компрессоров 1, 48 и 17 равно 0.83. При суммарном расходе фреона R142b через компрессор 1, равном $G_{\Sigma} = G_1 + G_2 + G_3 = 1$ кг/с, через дроссель 15 пройдёт фреон с расходом, равном $G_1 = 0.2405$ кг/с, через дроссель 47 пройдёт фреон с расходом, равном $G_2 = 0.3319$ кг/с, через компрессор 48 второй ступени пройдёт фреон соответственно $G_2 + G_3 = 0.7695$ кг/с. а через компрессор 17 последней ступени пройдёт фреон соответственно $G_3 = 0.4376$ кг/с. В этом случае расход нагреваемой воды составит $G_{Вод} = 1,047$ кг/с, $T_{В2} = 80$ °С и тепловая мощность, подведённая к нагреваемой воде составляет $N_{ТНУ} = 263,7$ кВт. При этом мощность компрессора 1 первой ступени будет равна $N_{К1} = 34.83$ кВт, компрессора 48 второй ступени соответственно равна $N_{К2} = 4.02$ кВт, а компрессора 17 последней ступени соответственно равна $N_{К3} = 6.88$ кВт. Коэффициент преобразования μ трёхступенчатой теплонасосной установки равен: $\mu = N_{ТНУ} / (N_{К1} + N_{К2} + N_{К3}) = 7.0$, что по сравнению двухступенчатой ТНУ, рассмотренной выше, где полностью перекрыт дроссель 15, $\mu = 5.02$, эффективность предложенной трёхступенчатой ТНУ составляет 28% [1].

Таким образом, суммарная работа трёх компрессоров данного ТНУ будет меньше суммарной работе трёх компрессоров, каждый из которых сжимает хладагент с расходом $(G_1+G_2+G_3)$, как следствие, приведёт к увеличению коэффициента преобразования $\mu = Q_{PT}/(A_{К1}+A_{К2}+A_{К3})$ всей многоступенчатой ТНУ и, в частности, составляет 28%.

Повышение эффективности многоступенчатой ТНУ связано с тем, что нагреваемое рабочее тело, пропускаемое через греющую полость проме-

жуточного конденсатора, отбирает у хладагента за секунду только то количество теплоты, которое необходимо, чтобы сконденсировать хладагент с секундным расходом G_1 , прошедшим через дроссель первой ступени. При этом температура нагреваемого рабочего тела достигнет температуры насыщения хладагента, поступающего в охлаждающую полость промежуточного конденсатора. Компрессор первой ступени совершает работу сжатия A_1 хладагента с расходом $G_1 + G_2$ до давления, равного давлению насыщения хладагента, поступающего в охлаждающую полость промежуточного конденсатора (1).

$$A_1 = H_1(G_1 + G_2) \quad (1)$$

где H_1 – теплоперепад, затраченный компрессором первой ступени на сжатие 1 кг. хладагента.

Дальнейшее повышение температуры нагреваемого рабочего тела происходит в конденсаторе второй ступени. При этом компрессор второй ступени совершает работу сжатия A_2 хладагента с расходом G_2 до давления, равного давлению насыщения хладагента, поступающего в охлаждающую полость конденсатора второй ступени (2).

$$A_2 = H_2 \times G_2, \quad (2)$$

где H_2 – теплоперепад, затраченный компрессором второй ступени на сжатие 1 кг. хладагента.

На рис. 1 представлена схема работы трёхступенчатой ТНУ. Эта установка содержит компрессор 1 первой ступени, компрессор 48 второй ступени, конденсатор 2 с выполненными в нём охлаждающей полостью 3 и греющей полостью 4 с выходным патрубком 5 нагреваемого рабочего тела, первый промежуточный конденсатор 6 с охлаждающей полостью 7 и греющей полостью 8, переохладитель 9 хладагента третьей ступени с греющей и охлаждающей полостями соответственно 10 и 11, переохладитель 12 хладагента первой ступени с греющей полостью 13 и охлаждающей полостью 14, последовательно сообщённой с дросселем 15 первой ступени, испарителем 16, компрессором 1 первой ступени и охлаждающей полостью 7 промежуточного конденсатора 6 первой ступени. Компрессор 17 третьей ступени, последовательно сообщён через охлаждающую полость 3 конденсатора 2 с охлаждающей полостью 11 переохладителя 9 хладагента третьей ступени. Установка содержит дроссель 18 третьей ступени, сепаратор 19 первой ступени, сепаратор 34 второй ступени, первый промежуточный переохладитель 20 хладагента с охлаждающей и греющей полостями соответственно 21 и 22, второй промежуточный переохладитель 35 с охлаждающей полостью 36 и греющей полостью 37. Установка так же содержит второй промежуточный конденсатор 38 с охлаждающей полостью 39 и греющей полостью 40, первый переохладитель 41 второй ступени с охлаждающей полостью 42 и греющей полостью 43, второй переохладитель 44 второй ступени с охлаждающей

полостью 45 и греющей полостью 46 и дроссель 47 второй ступени. Выход 23 охлаждающей полости 7 первого промежуточного конденсатора 6 первой ступени сообщён с входом 24 сепаратора 19 первой ступени. Выход 25 жидкой фракции хладагента сепаратора 19 первой ступени сообщён с входом 26 охлаждающей полости 14 переохладителя 12. Выход 27 паровой фракции хладагента сепаратора 19 первой ступени сообщён с входом 49 компрессора 48 второй ступени. Выход 29 охлаждающей полости 11 переохладителя 9 хладагента третьей ступени последовательно сообщён через охлаждающую полость 36 второго промежуточного переохладителя 35, охлаждающую полость 21 первого промежуточного переохладителя 20 и дроссель 18 третьей ступени с входом 30 испарителя 16. Выход 50 компрессора 48 сообщён через охлаждающую полость 39 второго промежуточного конденсатора 38 с входом 51 сепаратора 34 второй ступени. Выход 52 жидкой фракции хладагента сепаратора 34 второй ступени сообщён через охлаждающую полость 42 первого переохладителя 41 второй ступени, охлаждающую полость 45 второго переохладителя 44 второй ступени, дроссель 47 второй ступени с входом 30 испарителя 16. Выход паровой фракции сепаратора 34 второй ступени сообщён с входом 28 компрессора 17 третьей ступени. Входной патрубок 31 нагреваемого рабочего тела последовательно сообщён через греющую полость 22 промежуточного переохладителя 20, греющую полость 46 второго переохладителя 44 второй ступени, греющую полость 13 переохладителя 12 первой ступени, греющую полость 8 первого промежуточного конденсатора 6, греющую полость 37 второго промежуточного переохладителя 35 третьей ступени, греющую полость 43 первого переохладителя 41 второй ступени, греющую полость 40 второго промежуточного конденсатора 38, греющую полость 10 переохладителя 9 последней ступени с входом 32 греющей полости 4 конденсатора 2. Испаритель 16 содержит контур 33 низкопотенциального источника теплоты.

Выводы:

1. Использование предлагаемой авторами тепловой схемы многоступенчатой ТНУ позволяет повысить её эффективность по сравнению с существующими схемами.
2. Коэффициент преобразования μ предлагаемой трёхступенчатой ТНУ равен: $\mu = 7.0$. Суммарная работа трёх компрессоров (Рис. 1) будет меньше суммарной работе трёх компрессоров, каждый из которых сжимает хладагент с расходом $(G_1+G_2+G_3)$, как следствие, приведёт к увеличению коэффициента преобразования $\mu = Q_{PT}/(A_{K1}+A_{K2}+A_{K3})$ всей многоступенчатой ТНУ.

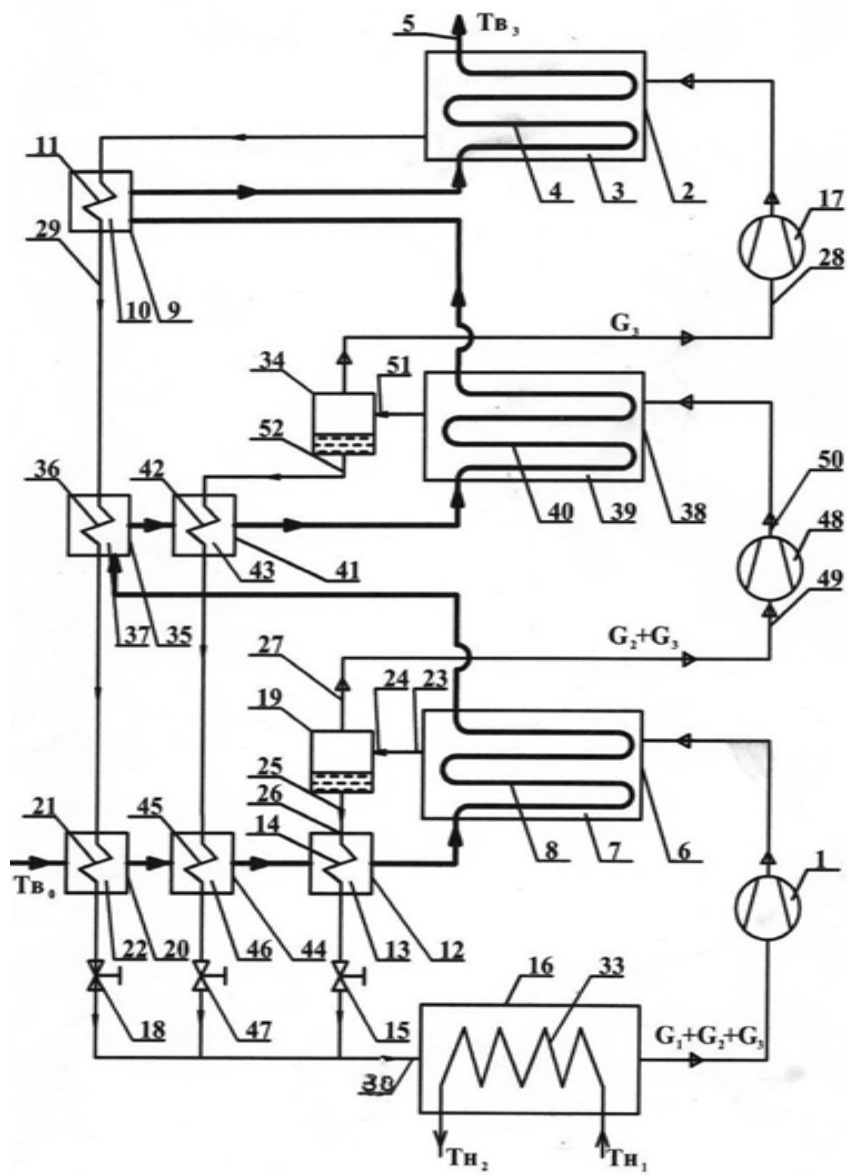


рис.1, Тепловая схема трёхступенчатого теплового насоса

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Патент на полезную модель RU №121044, Кл. F 25 В 30/02. 26.04.2012.
- [2] Патент DE №3311505, Кл. F 25 В 30/02. 26.03.1983
- [3] Янговский Е.И., Левин А.А. Промышленные тепловые насосы, М.: Энергоатомиздат, 1989 г.
- [4] Бараненко А.В. и др. Холодильные машины, СПб: Политехника, 2006г.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Д.Г. Алленов, аспирант

Кафедра технологий машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты
инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское ш., д. 8/5, Москва, Россия

Статья посвящена актуальной проблеме – созданию математической модели процесса резания. Автор формирует понятия качества поверхностного слоя и эксплуатационные характеристики детали. В работе создается модель токарной обработки тела вращения, рассматриваются параметры влияющие на качество изделия.

Ключевые слова: математическая модель, модель механической обработки резанием, эксплуатационные характеристики, качество поверхностного слоя, интенсивность деформации, износ режущей пластины.

С развитием промышленности к деталям машин, с каждым годом, предъявляются все более высокие требования. Поэтому все острее встает вопрос о создании качественных и надежных изделий. Одним из аспектов качества являются эксплуатационные свойства детали: износостойкость, коррозионностойкость, антифрикционность и др. На данные свойства в свою очередь влияют такие параметры как: геометрия поверхности (шероховатость, волнистость), ее механические характеристики, наличие микротрещин и остаточные напряжения.

В подавляющем большинстве случаев потеря работоспособности детали происходит вследствие износа трущихся поверхностей подвижных соединений.

Исследования влияние методов обработки на усталостные характеристики изделия рассмотренные в работе [4] показали, что, изменяя условия

обработки, можно влиять на остаточные напряжения, величину наклепа, шероховатость и т. п., что в свою очередь может увеличить усталостное сопротивление детали до двух раз.

В работе [2] рассмотрена зависимость коррозионной стойкости детали от качества поверхностного слоя: параметр шероховатости существенно влияет на сопротивление воздействию внешних факторов. Например, деталь обработанная ППД, имеет одинаковый предел выносливости в воде и воздухе [3].

В работах [1, 5], показано, что остаточные напряжения, шероховатость, наклеп существенно влияют на износостойкость, сопротивление усталости, прочность и коррозионную стойкость детали.

Актуальность моделирования процессов обработки определяется еще и применением жаропрочных и труднообрабатываемых материалов для изготовления ответственных деталей. При моделировании нельзя обойти вниманием и износ режущего инструмента, во многом определяющий качество поверхностного слоя.

Представленное исследование реализовано на базе системы конечно-элементарного (КЭ) моделирования технологических процессов «Deform» с использованием модуля «machining» для обработки резанием.

Задача исследования была разбита на 4 этапа:

1. Моделирование процесса резания.
2. Анализ зависимости деформации в поверхностном слое от режимов резания.
3. Анализ зависимости деформации в поверхностном слое от геометрии режущей кромки.
4. Анализ зависимости деформации в поверхностном слое от износа резца.

Исследования проводились для скорости резания от 50 до 150 м/мин. Размеры рабочей части инструмента: длина верхней грани (L1) 1 мм, боковой (L2) 1 мм, передний и задний углы (В,С) и радиус скругления (R) варьируются в зависимости от износа рис. 1.

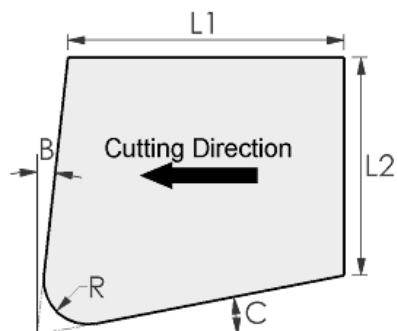


Рис. 1 Выбор параметров реза в программе.

Участок обрабатываемой стальной заготовки имеет толщину 0,7 мм, длину 10 мм, глубина резания – 0,1 мм. Материал обрабатываемой заготовки – сталь Ст45, инструмент принят идеально жестким.

В моделировании не учитывается передача температуры от заготовки к инструменту и увеличение износа инструмента в ходе обработки.

Исследуемый участок заготовки был разбит на 2600 конечных элементов (рис. 2), размер грани каждого элемента 0,05мм для всей заготовки.

Для более точного отображения процесса, происходящего в зоне резания и в момент врезания инструмента в заготовку, КЭ сетка разбита на более мелкие элементы (рис. 3). Непосредственно в зоне резания размер грани отдельного элемента составляет 0,005мм, после прохождения инструмента в поверхностном слое КЭ сетка разбивается на элементы размером 0,015мм.



Рис. 2 Сетка КЭ на заготовке

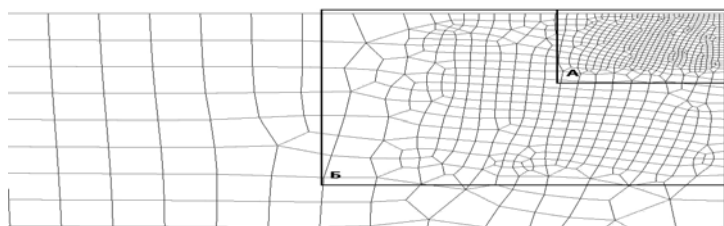


Рис. 3 Укрупненный вид. В квадрате А размер элемента сетки составляет 0,005мм, в квадрате Б размер составляет 0,015мм.

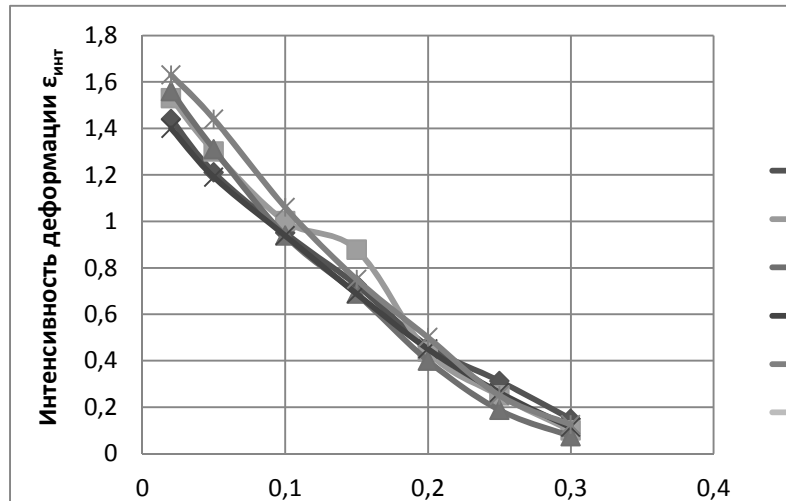


Рис. 4 Влияние скорости резания на остаточные деформации в поверхностном слое.

Скорость резания существенно влияет на деформацию верхних слоев (рис. 4). С увеличением глубины интенсивность деформации уменьшается и зависимость от скорости уже не так ощутима, как у поверхности.

Скорость резания существенно влияет на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя обрабатываемой детали. Это связано с тем, что рост скорости резания увеличивает скорость деформаций, вызывает рост температура в зоне резания. В определенном диапазоне скоростей активизируются адгезионные свойства материала, которые при дальнейшем росте скорости значительно уменьшаются, делая влияние нароста минимальным.

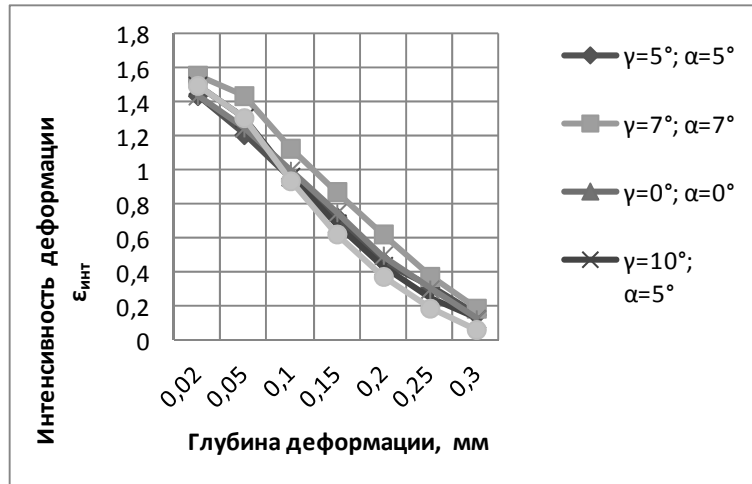


Рис. 5 Влияние геометрии режущей пластины на остаточные деформации в поверхностном слое.

Из графика на рис. 5 видно, что варьирование передних и задних углов в указанных пределах оказывает существенное влияние на слой материала, удаленные от поверхности. Там оно доходит до 100 и более процентов.

Из графика на рис. 6 видно, что с ростом износа кромки интенсивность деформации увеличивается, что негативно сказывается на качестве поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. При этом характер зависимости деформаций от глубины слоя сохраняется при изменении радиуса R .

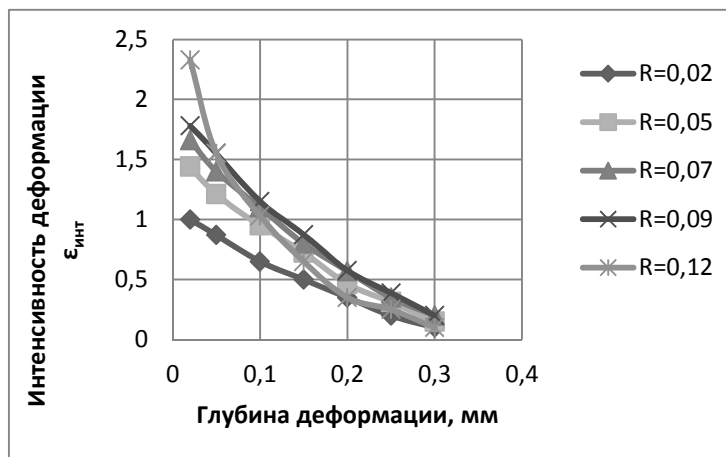


Рис. 6 График зависимости деформации поверхностного слоя от износа реза в виде закругления режущей кромки.

В заключение следует отметить сложность математического моделирования динамических явлений, сопровождающих обработку материалов резанием, зависящих от износа режущего инструмента, тоже влияющих на качество поверхностного слоя. Моделирование и анализ этих явлений являются предметом дальнейших исследований. Настоящая работа представляет начало исследований, в ходе которых будет рассмотрена возможность внедрения данной методики в технологию обработки ответственных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Брондз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. / Л.Д. Брондз. М.: Машиностроение, 1986 – 184 с.
- [2] Каледин Б.А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием. / Б.А. Каледин, П.А. Чеп. Минск: Наука и техника, 1974 – 232 с.
- [3] Кудрявцев И.В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении. / В.И. Кудрявцев. М.: Машгиз, 1951 – 280 с.
- [4] Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский. М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
- [5] Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. / А.Г. Суслов. М.: Машиностроение, 2000 – 320 с.

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

Стеняев А.В., аспирант
Рогов В.А., д.т.н., профессор

Кафедра технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия

При алмазном выглаживании качество обработанной поверхности зависит от таких технологических параметров как: химический состав обрабатываемого материала, формы и профиля рабочего инструмента, подачи, усилия деформирования, исходной шероховатости поверхности заготовки (зависит от предшествующей обработки), особенности пластического течения металла в контактной зоне.

Ключевые слова: качество поверхностного слоя, алмазное выглаживание, повышение производительности.

Повышению качества поверхностного слоя путем алмазного выглаживания посвящено много работ, в которых исследовались режимы и методы повышения производительности и качества процесса. Причинами применения алмазного выглаживания в технологии приборостроения и общего машиностроения служит повышение шероховатости поверхности за счет уменьшения высоты микронеровностей поверхности после финишной обработки; а так же возможность создания определённых физико-механических свойств поверхностного слоя материала и его упрочнение; уменьшение шероховатости поверхности до требуемого значения. Кроме того, алмазное выглаживание применяется для формирования микронеровностей поверхности с определёнными параметрами, с целью обеспечения определённых эксплуатационных свойств поверхности.

Возможно повышение производительности алмазного выглаживания путем динамической стабилизации процесса. Комплексный технологический критерий позволяет определить технологические условия для стабильного обеспечения качества поверхностного слоя. Для алмазного выглаживания характерна низкая скорость обработки.

Качество обработанной поверхности зависит от таких технологических параметров как: химический состав обрабатываемого материала, формы и профиля рабочего инструмента, подачи, усилия деформирования, исходной шероховатости поверхности заготовки (зависит от предшествующей обработки), особенности пластического течения металла в контактной зоне.

Контуры профиля рабочего инструмента могут быть исполнены в виде кругового профиля, в форме тора, бочки или сферы, а так же конические. Область применения различных видов профиля так же ограничена, и выбор оптимальной конструкции ролика и его рациональное применение в частном случае, является важной задачей. Инструмент со сферической формой заточки позволяет обрабатывать наружные, внутренние и плоские поверхности как методом выглаживания, так и вибровыглаживанием. Цилиндрическую форму применяют только для обработки наружных цилиндрических поверхностей. Тороидальная форма широкого применения не нашла из-за необходимости использования природных и синтетических алмазов большого размера. Выбор выглаживателя зависит от материала заготовки, её габаритных размеров, требований предъявляемых к детали. Так же от выбора инструмента зависит модель протекания процесса, так при выглаживании широким инструментом, деформация будет протекать по прямой линии, потребуется большее усилие, чем при обработке шариком, где процесс протекает вдоль движения очага деформации. А так же один и тот же по форме контакт можно обеспечить отличающимися по размерам роликами, но объем контакта будет отличаться, так как с увеличением начального радиуса ролика объем контакта уменьшается, а площадь контакта увеличивается, при уменьшении начального радиуса наоборот.

При алмазном выглаживании рабочий инструмент прижимается к поверхности детали с определенной силой F_N . В зоне контакта деформирующего элемента и обрабатываемой детали возникает очаг пластической деформации с неравномерным объемом пластических зон, расположенных с двух сторон от инструмента. Двухсторонний очаг деформации перемещается вместе с движением заготовки, вследствие чего поверхностный слой последовательно деформируется на глубину h , равную глубине распространения очага деформации. При определенном усилии рабочего инструмента происходит пластическая деформация поверхностного слоя, в результате происходит смятие микронеровностей и изменение физико-механических свойств поверхностного слоя.

Взаимодействие алмазного шарика с деталью сопровождается образованием наплывов (волн) искажая и деформируя кристаллическую решетку поверхностного слоя металла.

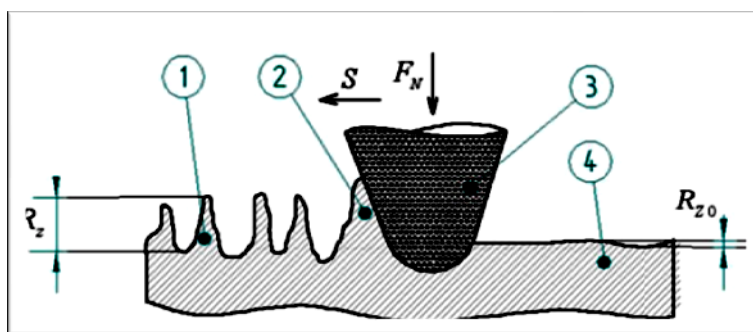


Рисунок 1

1. Поверхность детали до обработки
2. Очаг деформации
3. Рабочий инструмент
4. Поверхность детали после обработки

Глубина деформации зависит от величины внедрения алмазного шарика, на начальном этапе обработки на детали возникает пластически деформированная контактная канавка, при дальнейшей обработке происходит увеличение контактной канавки, а также размеры боковых наплывов. Происходит распространение пластической деформации по кристаллографическим плоскостям и направлениям заготовки. Внутри зерен происходит интенсивное развитие дислокаций, что приводит к нарушению чередования слоев кристаллической решетки. Под действием касательных сил происходит движение дислокаций по плоскостям, а также их размножение взаимодействием между собой и точечными дефектами.

Дальнейшее рассмотрение процесса образования поверхностного слоя поверхности показывает, что при обработке методом алмазного выглаживания возникает большое количество различно направленных дислокаций, которые пересекаясь и накладываясь друг на друга увеличивают сопротивление сдвиговой деформации, при этом величина деформирующих напряжений снижается по мере удаления от очага деформации. Все эти явления приводят к упрочнению поверхностного слоя детали, зерна кристаллической решетки здесь приобретают определенную ориентированность и создают оригинальную структуру.

Остаточные напряжения в результате значительного роста плотности дислокаций в поверхностном слое идут на спад. В наружных слоях наблюдается увеличение удельного объема деформируемого слоя и в них возникают напряжения сжатия, а во внутренних, возникают, уравновешивающие растягивающие напряжения. Исходя из этого можно предположить, что область максимальных касательных напряжений будет располагаться на некоторой глубине, а пластическая деформация в поверх-

ностном слое начнется позже и будет менее интенсивна.

От глубины внедрения алмазного шарика в обрабатываемую деталь зависят параметры качества поверхностного слоя. При незначительном внедрении инструмента в деталь происходит лишь сглаживание неровностей за счет осаживания выступов и подъема впадин, применяются малые силы обработки. С увеличением режимов обработки деформируется также и основной металл, что приводит к возникновению пластической волны, наблюдается подъем металла за инструментом, но не выше линии выступов шероховатости. Дальнейшее повышение режима обработки приводит к образованию большей пластической волны, вершина которой выходит за границы линии выступов исходной шероховатости.

При глубоком внедрении рабочей части инструмента в заготовку вокруг шарика образуется пластическая волна поверхностного слоя металла препятствующая обработке и увеличивающая напряжение в очаге деформирования..

В процессе выглаживания возможно такое явление как проскальзывание между поверхностью ролика (шарика) и деталью. Оно возникает и при вытеснении металла из контактной зоны в направлении к свободной от нагружения поверхности, то есть в направлении дальнейшей обработки. Это явление существенно влияет на формирование качества поверхностного слоя, так как возникают необработанные участки поверхности.

В настоящее время существующие методы алмазного выглаживания позволяют получать поверхностный слой детали с заданными параметрами и обеспечить высокое качество деталей.

РАСЧЕТ ЗАПАСОВ РЕМОНТИРУЕМЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Эль Эриан Фатма Абдала Мохаммед, аспирант

Копылов В.В., к.т.н., доцент

Соловьев В.В., к.т.н., доцент

Кафедра технологий машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Российский университет дружбы народов
Подольское ш., д. 8/5, Москва, Россия

Для расчета запасов ремонтируемых узлов металлорежущих станков применен подход нечеткой логики который, опирается на сопоставление спроса на данный вид ресурса в рассматриваемый момент времени с количеством ресурса, имеющемся на складе. В зависимости от этого формируется управляющее решение, на основании которого увеличиваются

или уменьшаются соответствующие запасы.

Ключевые слова: управление запасами, подход нечеткой логики, лингвистические переменные, потребное количество пополняемых запасных узлов, выполнение ремонтных воздействий.

На процесс управления запасами в ремонтном производстве влияют многие факторы, в том числе и сложно формализуемые, такие как, вероятность надежности агрегатов (вследствие различных ресурсов наработки), аварийные ситуации, вероятность интенсивности процессов изнашивания и т. п. Поэтому найти точные зависимости объемов запасных узлов и частей оказывающих влияние на рациональное функционирование ремонтного производства представляется затруднительным. Задача управления запасами превращается в сложно решаемую и многокритериальную.

В этих случаях можно использовать вероятностные модели, учитывающие имеющиеся неопределенности. Однако для их применения необходимо иметь частотные распределения неопределенных параметров, которые невозможно получить из-за высокой трудоемкости сбора информации по большой номенклатуре применяемых на предприятии запасных деталей и узлов, либо, из-за отсутствия такой информации, в репрезентативном объеме.

В ряде известных работ [1-3] доказано, что хорошей альтернативой классическим моделям управления запасами может служить подход, основанный на нечеткой логике. Этот подход, развиваемый в названных в работах, не требует построения и решения сложных математических моделей. Он опирается на сопоставление спроса на данный вид ресурса в рассматриваемый момент времени с количеством ресурса, имеющемся на складе. В зависимости от этого формируется управляющее решение, на основании которого увеличиваются или уменьшаются соответствующие запасы.

Качество нечеткой модели управления существенно зависит от нечетких правил и функций принадлежности, описывающих нечеткие термы. Чем удачнее подобраны нечеткие правила и функции принадлежности, тем адекватнее управленческое решение.

Процесс применения нечеткой логики осуществляется на трех стадиях: фаззификации (fuzzification), принятия решения и дефаззификации (defuzzification). *Фаззификация (переход к нечеткости)* - на данной стадии точные значения входных переменных преобразуются в значения лингвистических переменных («термов») посредством применения некоторых положений теории нечетких множеств, а именно - при помощи определенных функций принадлежности. В процессе принятия решения используется нечеткое условие найденное в базе данных «...если – то»

(«...if - then»), для преобразования входных данных (параметров) в требуемые управляющие воздействия. Дефаззификация (устранение нечеткости) осуществляется переходом от нечетких значений величин («термов») к определенным физическим параметрам, которые могут служить управляющими командами.

Разработка модели нечеткой логики выполняется с помощью графических средств системы *Matlab* (сокращение от англ. «*Matrix Laboratory*») — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноименный язык программирования, широко используемый в научных исследованиях и прикладных разработках.

В редакторе нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox можно использовать три входных $OH(t)$, $BO(t)$ и $OP(t)$ и один выходной $S(t)$ параметр в моменты времени t . Графический интерфейс редактора для этих переменных, как обобщенный пример, показан на рис.1.

Для решения поставленной задачи используемые в соответствии с Centroid methodом параметры представим в виде следующих лингвистических переменных.

Лингвистические переменные $BO(t)$ для ввода данных по количеству расходуемых запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий:

$B1$ – очень низкое; $B2$ – низкое; $B3$ – постоянное; $B4$ – высокое; $B5$ – очень высокое.

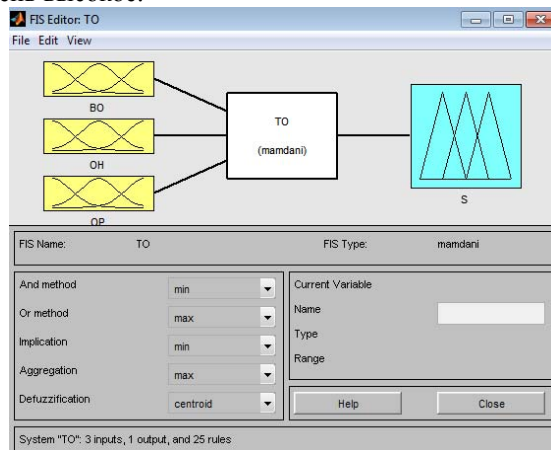


Рис.1. Редактор GUI для входных и выходных переменных в системе нечеткого вывода.

Лингвистические переменные $OH(t)$ для ввода данных по количеству поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени;

O1 –очень низкое; O2 – низкое; O3 – адекватно достаточное; O4 – высокое; O5 – очень высокое.

Лингвистические переменные OP(t) для ввода данных по количеству запасных узлов в начальный момент обслуживания:

P1 –очень низкое; P2 – низкое; P3 – адекватно достаточное; P4 – высокое; P5 – очень высокое.

Лингвистические переменные S(t) для ввода переменных по уровню запасов на складе ремонтного производства:

C1 – необходимо резко уменьшить; C2 – необходимо уменьшить умеренно; C3 – необходимо уменьшить медленно; C4 – необходимо оставить на прежнем уровне; C5 – необходимо увеличить медленно; C6 – необходимо увеличить умеренно; C7 – необходимо увеличить резко.

Графические интерфейсы (GUI) лингвистических переменных по количеству расходующих запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий (BO) показан на рис. 2, по количеству поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени (OH) на рис. 3, по количеству запасных узлов в начальный момент обслуживания (OP) на рис. 4, по уровню запасов (S) – на рис. 5. Правила используемые в нечеткой системе управления запасами ремонтируемых показаны на рис.6.

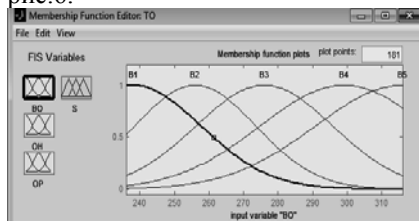


Рис. 2. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству расходующих запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий (BO).

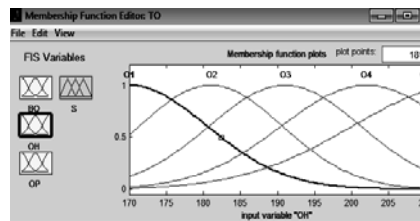


Рис. 3. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени (OH).

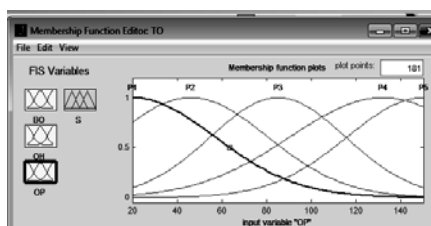


Рис. 4. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству запасных узлов в начальный момент обслуживания (OP).

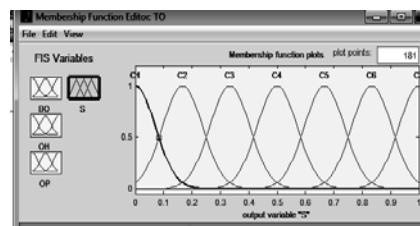


Рис. 5. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по уровню запасов (S).

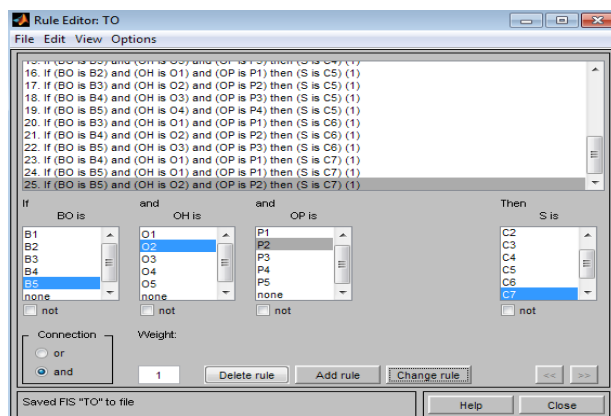


Рис. 6. Графический интерфейс (GUI) правил используемых в нечеткой логике.

На рис. 7. показан результат применения вышеизложенного метода нечеткой логики для токарной группы станков. Например, если входные параметры: ВО - количество запрашиваемых для ремонта запасных узлов равно 276, ОР - количество запасных узлов в начальный момент обслуживания равно 75 и ОН - количество доступных для ремонта запасных узлов равно 190, то оптимальный запас на складе ремонтного производства для токарной группы S должен быть равен 0,506. (рис. 7).

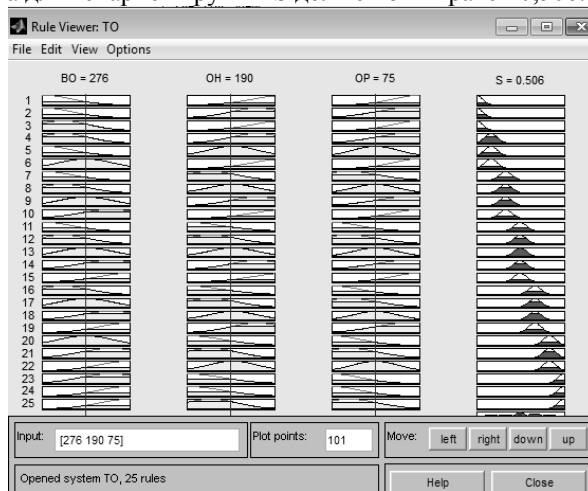


Рис.7 Пример обработки данных в интерфейсе программы Rule Viewer

Закключение. Применение метода нечеткой логики в управлении запасами в ремонтном производстве позволяет в оперативной форме опти-

мизировать складские запасы при ремонте металлорежущих станков. В любом временном интервале можно, не прибегая к сложным экономическим расчетам, устанавливать в динамическом режиме потребное количество пополняемых запасных узлов для выполнения ремонтных воздействий обслуживаемого парка металлорежущего оборудования. При этом обеспечивается минимизация потребных оборотных средств.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zade L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. P. 1, 2, 3 // Information Sciences. — 1965. — № 8. —P. 199 — 249, pp. 301 — 357.
- [2] Timothy J.Ross. Fuzzy logic with engineering applications, New Mexico, McGraw Hill. 1995, pp. -650.
- [3] Р.Ш. Саитгареева, А.А. Колесников, Применение механизмов нечеткой логики для оценки финансово-хозяйственной состоятельности предприятия, Вестник ВЭГУ № 2 (40) 2009.

СОЗДАНИЕ МАТЕРИАЛОВ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Базик М.В., аспирант,
Рогов В.А., д.т.н., профессор

Кафедра технологий машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты
инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское ш., д. 8/5, Москва, Россия

Плотность и прочность керамического материала, который получен компактированием в условиях ОГТ и спекания, зависит от размера наночастиц и морфологии порошков диоксида циркония, которые образуются с помощью физических действий. Монотонное увеличение плотности и соответствующий рост прочности материала, получаемые из мелкого, но агломерированного порошка, при росте давления ВГТ соответствует многостадийному последовательному спеканию различных порошковых структурных составляющих.

Ключевые слова: Наноразмерные порошки, твердые электролиты, скорость и механизм дегидратации, агломерированный порошок.

Наноразмерные порошки стабилизированного диоксида циркония широко применяются, как материал для твердых электролитов в твердотельных оксидных топливных ячейках (SOFC Solid Oxide Fuel Cell). Это

обусловлено их высокой кислородной ионной проводимостью и хорошей химической стойкостью при условиях работы SOFC [1]. В качестве стабилизаторов кубической структуры диоксида циркония, применяемого для изготовления твердых электролитов, используют редкоземельные элементы, и в первую очередь, Иттрий (iii), Скандий (iii) и Церий (IV). Твердые электролиты на основе порошков диоксида циркония стабилизированного скандия (iii), по сравнению с иттрием (iii), имеют ряд преимуществ, связанных с их более высокой ионной проводимостью и эксплуатационными характеристиками, при температурах работы в твердотельных оксидных топливных ячейках (SOFC) (600 -8000С) [2-4].

Современной тенденцией в разработке и использовании твердофазных порошковых материалов, в том числе и диоксида циркония, является получение их в наноразмерном состоянии, когда размер первичных частиц не превышает 100 нм [4]. С этим связано и разнообразие методов, в основном препаративных, получения циркониевых материалов на основе диоксида циркония: цитратный метод [2], темплатный синтез [3], метод распылительной сушки [1], сжигания [4] и золь-гель процесс [4]. Однако, наибольшее практическое значение для получения наноразмерных порошков стабилизированного диоксида циркония имеет метод совместного осаждения [2] и гидротермального синтеза.

Проведенные исследования показали, что процесс кристаллизации при температурах 385 и 400°С в порошках гидроксидов циркония, обработанных СВЧ и ИМП, начинается раньше и идет медленнее, чем в порошках гидроксида циркония, полученных конвекционной сушкой. Методами РФА и ПЭМ показано, что при кристаллизации гидроксидов циркония, обработанных СВЧ и ИМП, размер ОКР нанопорошков диоксида циркония составляет 7 - 8 нм, что в 1,5 раза меньше, чем в порошке, полученном из конвекционно высушенного порошка гидроксида циркония (12,5 нм). Без использования СВЧ и ИМП воздействий на гидроксид циркония получения наночастиц диоксида циркония с размером 7 - 8 нм было бы невозможным. С помощью формальной теории фазовых превращений Аврааме [1,2] были найдены параметры процесса кристаллизации - показатель степени и линейная скорость роста (рис. 1).

Определено, что показатель степени в уравнении Аврааме одинаковый для СВЧ и ИМП обработанного порошка и отличается от конвекционно высушенного порошка. Показатель степени и константа скорости изменяются в зависимости от температуры прокаливания и типа обработки. В связи с этим вычисления энергии активации процесса кристаллизации с использованием констант Аврааме практически невозможно, так как константы скорости имеют разные размерности [1 / tn].

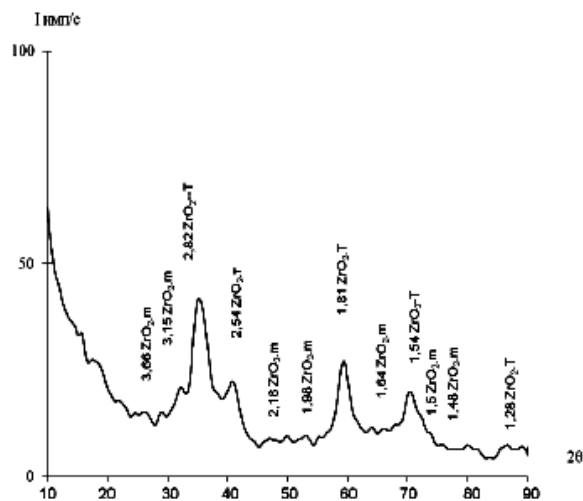


Рис. 1. Кинетика кристаллизации диоксида циркония, прожаренного при t 400°C.

Было обнаружено, что использование формулы Саковича [2] или уравнение с расширенной экспонентой [3] обеспечивает независимость констант скорости процесса кристаллизации от типа обработки гидроксида циркония и позволяет вычислить энергию активации этого процесса. В первом приближении энергия активации процесса кристаллизации в рассматриваемом диапазоне температур не зависит от типа обработки и составляет 2,70,1 эВ, что близко к величине энергии активации диффузии кислорода в наноразмерном диоксиде циркония [4].

Полученные результаты позволяют утверждать, что термически активированный процесс кристаллизации частиц диоксида циркония зависит от морфологии порошка гидроксида циркония, его дисперсности и степени агрегации.

Анализ кинетики сушки гидроксида циркония с помощью уравнения типа Аврааме [5] показал, что использование СВЧ и ИМП приводит к изменению механизма испарения воды (рис. 2).

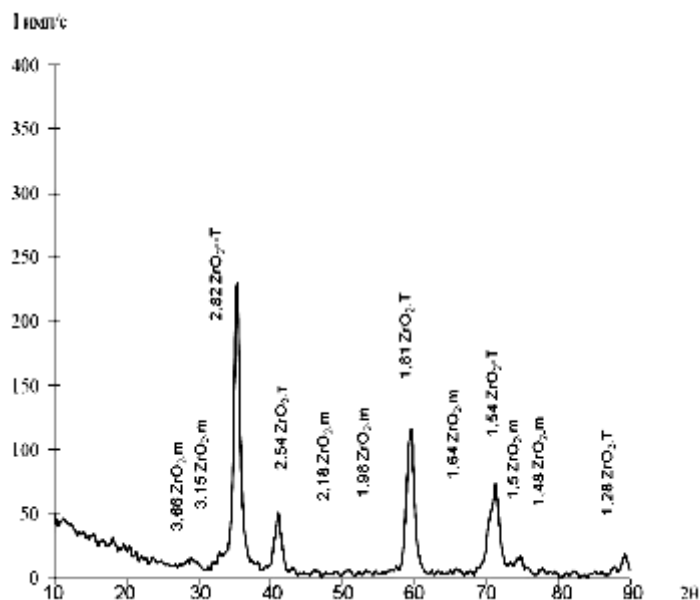


Рис. 2. Кинетика дегидратации гидроксида циркония для различных условий сушки.

В случае конвекционной сушки при 120°C и даже при 230°C процесс идет в одну стадию с близкими показателями (1,11 и 1,14, соответственно), что согласно формальной теории Аврааме свидетельствует о дегидратации (парообразованию) из линейных источников. При использовании ИМП и СВЧ стадия испарения с линейных источников сменяется стадией гомогенного испарения, которая лучше проявляется при дегидратации в СВЧ поле.

Эта разница в скорости и механизмах дегидратации приводит к изменению структуры агломерата гидроксида циркония. Большие и плотные агломераты гидроксида циркония формируются при медленном удалении молекул воды и взимаемые гидратных оболочек при конвекционной сушки, а малые разрозненные наноразмерные агрегаты формируются благодаря интенсивному и гомогенной сушке в СВЧ и ИМП поле.

Методом ЯМР показано, что СВЧ излучения в основном влияет на молекулы неструктурированной и координационной воды, а ИМП также влияет на химически связанную воду, то есть на ОН-группы. Взаимодействие СВЧ излучения с полярными молекулами воды проходит в каждой точке объема по механизму дипольного вращения и приводит к очень интенсивному и однородному процессу испарения, который ведет к созданию равномерной пористой структуры агломерата гидроксида цирко-

ния и разъединение их на наноразмерные агрегаты.

Исследование структуры нанопорошков с помощью ПЭМ, РФА, гранулометрического анализа и измерения удельной поверхности показали, что при прокаливании в диапазоне температур 400 - 1000° структура порошков диоксида циркония изменяется в зависимости от типа обработки и температуры прожарки.

Подводя итоги исследования, можно отметить следующее: выявлено, что плотность и прочность керамического материала, который получен компактированием в условиях ОГТ и спекания, зависит от размера наночастиц и морфологии порошков диоксида циркония, которые образуются с помощью физических действий. Монотонное увеличение плотности и соответствующий рост прочности материала, получаемые из мелкого, но агломерированного порошка, при росте давления ВГТ соответствует многостадийному последовательному спеканию различных порошковых структурных составляющих.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пул Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; [пер. с англ.]. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
- [2] Коленько Ю.В. Синтез гидротермальным методом нанокристаллических порошков различных кристаллических модификаций ZrO₂ и TiO₂ / Ю.В. Коленько, А.А. Бурухин, Б.Р. Чурагулов // Журнал неорганической химии. – 2002. – Т. 47, № 11. – С. 1755 – 1762.
- [3] Литвин Б.Н. Гидротермальный синтез неорганических соединений / Б.Н. Литвин, Б.Н. Пополитов. – М.: Наука, 1984. – 252 с.
- [4] Гидротермальный синтез ультрадисперсных порошков диоксида циркония / А.В. Шевченко, А.К. Рубан, Е.В. Дудник, В.А. Мельникова // Порошковая металлургия. – 1997. – № 7/8. – С.74-80.

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛОПАТОК ТУРБИН КРИВЫМИ *BEZIER*

Л.В. Виноградов, *к.т.н., профессор*

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Российский университет дружбы народов
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

В работе рассмотрен вопрос профилирования лопатки турбины. Для автоматизированного проектирования в среде *Mathcad* для ЭВМ разработана прикладная программа, являющаяся элементом *CAD* системы. Показаны результаты профилирования спинки соплового профиля типа ТС-3Б кривыми *Bezier* 1-5-го порядков.

Ключевые слова: турбина, лопатка, профиль, парабола, кривая *Bezier*,

пакет прикладных программ, проектирование

Проектирование лопаток паровых и газовых турбин является одной из наиболее трудоемких, многофакторных задач, требующих финишной экспериментальной доводки на газодинамических стендах. При конструировании проточной части турбин применяются два основных способа: первый – применение ранее разработанных профилей, представленных в атласах профилей или в других нормативных документах, второй – разработка оригинального профиля.

На рис. 1 показана схема профиля лопатки турбины.

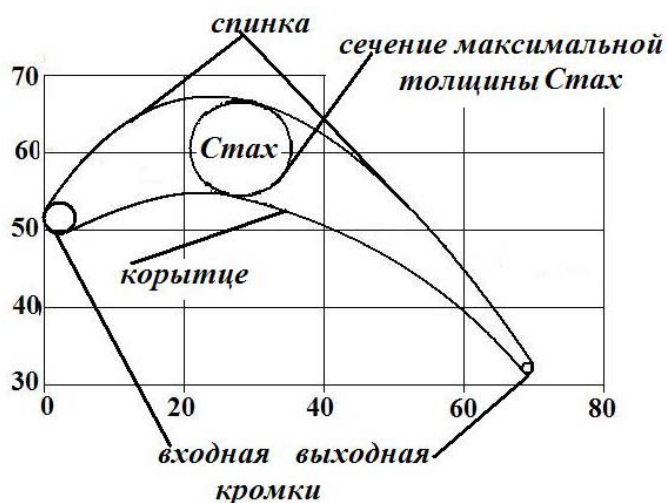


Рис. 1. Схема профиля лопатки турбины

Обводы профиля лопатки (спинка, корытце) описывается различными кривыми: параболы, совокупностью сопряженных окружностей, лемнискатами, эллиптическими кривыми, кривыми *Bezier* 2-5-го порядков, комбинацией кривых и т.д. Входная и выходная кромки в большинстве случаев выполняются в виде дуг окружностей.

В предыдущей работе реализован вариант расчетной схемы [1] (рис.2) при построения профиля лопатки турбины. При разработке этой расчетной схемы в математической модели было положено: передний фронт решетки совмещен с осью ординат, поток набегаает слева, установочная (базовая) линия, положение которой определяется углом установки профиля в решетке, касается окружностей входной и выходной кромок профиля, окружность передней кромки касается переднего фронта решетки,

а окружность выходной кромки касается заднего фронта решетки, направление окружной скорости совпадает с противоположным направлением оси ординат.

На рис. 2 даны параметры, используемые при построении профиля лопатки турбин: $\beta_{1л}$ – входной угол профиля лопатки, образованный касательной к средней линии OK профиля в его входной части и передним фронтом решетки; $\beta_{2л}$ – выходной угол профиля лопатки, образованный касательной к средней линии профиля nm в его выходной части и задним фронтом решетки (для соплового аппарата указанные углы обозначаются через α); S – ширина решетки; a – горло межлопаточного канала (минимальное расстояние между двумя соседними лопатками); δ_n – угол отгиба (затылочный угол); r_1 и r_2 – радиусы входной и выходной кромки профиля; t – шаг решетки; φ_1 – угол заострения входной кромки; φ_2 – угол заострения выходной кромки; X_C – расстояние, на котором расположено сечение максимальной толщины профиля C_{max} .

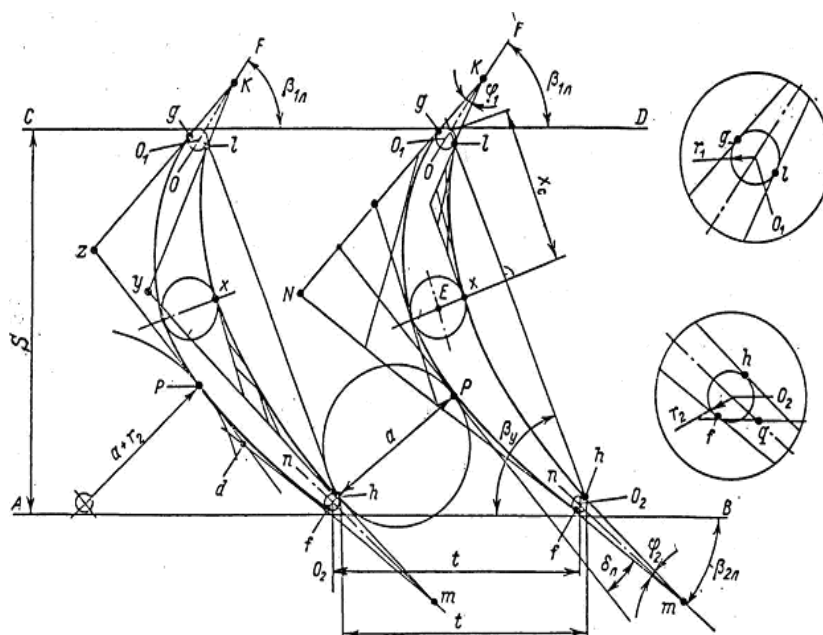


Рис.2 Расчетная схема построения профиля турбинной решетки [2]

Конструирование профиля лопатки турбины по схеме (рис. 2) было реализовано в среде *Mathcad*: «*The program for the automated profiling blades Turbomachines by Bezier curves*» (Программа автоматизированного

проектирование лопаток турбомашин кривыми *Bezier*). На рис. 3 и 4 показан реактивный профиль типа P5140 и решетка на его базе.

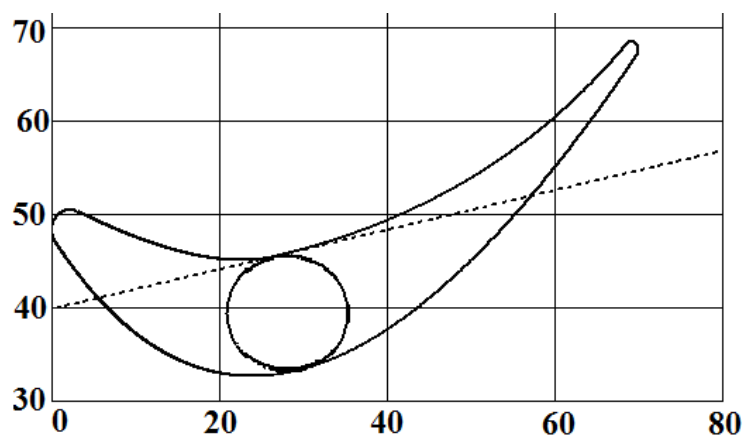


Рис. 3. Профиль типа P5140 с однопараболической спинкой (*Bezier* 2-го порядка) и двухпараболическим корытцем (две кривые *Bezier* 2-го порядка):

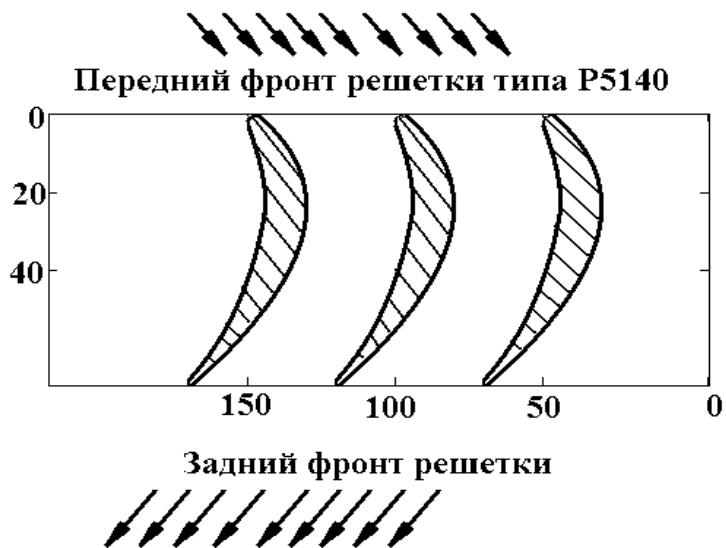


Рис. 3. Развертка решетки типа P5140

В настоящей работе решен другой способ построения профиля - аппроксимация матрицы координат профиля лопатки. Как уже отмечалось, тип кривых, описывающих обводы спинки и корытца бывают самыми разными. Наметилась некоторая тенденция применять кривые *Bezier* различного порядка, широко использующиеся в компьютерной графике. Эта тенденция, видимо, связана со свойствами кривых *Bezier* и алгоритмом аппроксимации исходных данных, содержащихся в атласе или подобных документах турбинных профилей.

На рис. 4 показана расчетная схема околозвукового соплового профиля паровой турбины разработки МЭИ – ТС-3Б.

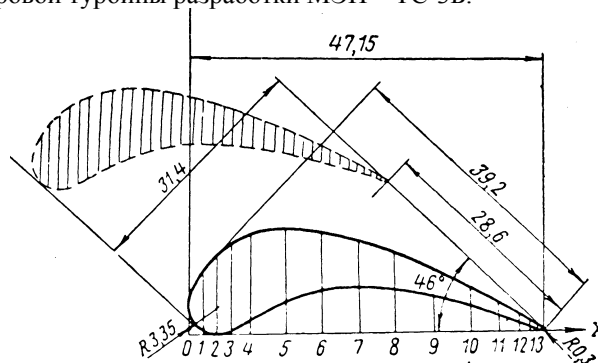


Рис. 4. Расчетная схема профиля ТС-3Б (МЭИ)

Исходными данными помимо расчетной схемы являются: матрица координат обводов профиля, параметры решетки профилей. В программном модуле для ввода исходных данных (среда *Mathcad*) формируется матрица исходных данных соответствующего формата: первая строка матрицы абсциссы x , вторая строка - y_1 - ординаты выпуклой части профиля (спинки), третья строка - y_2 - ординаты вогнутой части профиля (корытца), четвертая строка матрицы: γ - угол установки профиля в решетке, b - хорда профиля, t - шаг профиля в решетке, r_1 - радиус окружности входной кромки профиля, r_2 - радиус окружности выходной кромки профиля, x_{01} , y_{01} - координаты смещения центра окружности входной кромки профиля относительно начала координат, x_{02} , y_{02} - координаты смещения центра окружности выходной кромки профиля относительно начала координат. (По правилу *Mathcad* все ячейки матрицы должны быть заполнены. В нашем случае - нулями.)

МТС-
3Б

$$\begin{aligned}
 & \begin{pmatrix} 0 & 1.5 & 3.35 & 5.00 & 7.5 & 12.5 & 17.50 & 22.50 & 27.50 & 32.50 & 37.50 & 41.00 \\ 3.35 & 8 & 10.33 & 11.63 & 12.96 & 13.55 & 12.90 & 11.85 & 10.30 & 7.95 & 5.40 & 3.64 \\ 03.35 & 0.56 & 0 & 0.42 & 1.86 & 4.15 & 5.25 & 5.55 & 5.30 & 4.50 & 3.26 & 2.17 \\ \gamma & b & t & r_1 & r_2 & x_{01} & y_{01} & x_{02} & y_{02} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 \text{MTC-3Б}_2 & := \begin{pmatrix} 43.60 & 45.10 & 47.15 \\ 2.32 & 1.55 & 0.3 \\ 1.24 & 0.68 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рис. 5. Фрагменты матриц исходных данных

На рис. 5 показаны фрагменты матрицы исходных данных для аппроксимации обводов контура профиля ТС-3Б.

На рис. 6 представлен векторный график профиля, на котором изображены входная и выходная кромки и точки спинки и корытца, координаты которых даны в матрице.

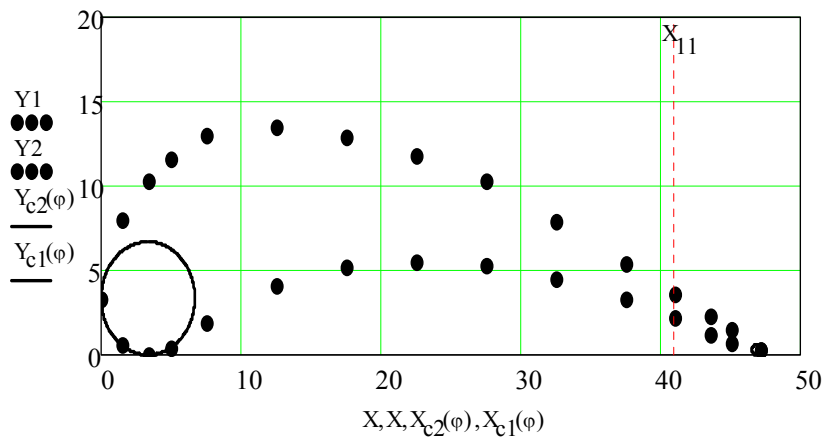


Рис. 6. векторный график профиля ТС-3Б.

— окружности входной и выходной кромок; •• — координатные точки спинки и корытца

Векторный график используется для оценки геометрических характеристик профиля в первом приближении использованием функции *linterp*, а также оценки корректности исходных данных (координат).

Следующим этапом процесса аппроксимации спинки являлось: проведение касательных к входной и выходной кромкам, аппроксимация

участка спинки профиля линейным полиномом *Bezier*, подбор кривых *Bezier* второго и высших порядков (от 3 до 5-го) для окончательного приближения. Оценка степени приближения производилась по индексу корреляции, который в данном случае равнялся $r=0,998712$, что говорит о достаточно хорошем результате, если учесть, что координаты спинки даны с округлением до второго знака после запятой. Следует отметить, что для расчета индекса корреляции обвод спинки необходимо интерполировать кубическим сплайном.

В работе применялись: линейная кривая (кривая первой степени (прямая), которая определяется следующей параметрической формулой:

$$P(t) = (1 - t)P_0 + tP_1;$$

второго порядка

$$P = (1 - t)^2P_0 + 2(1 - t)tP_1 + t^2P_2;$$

третьего порядка (кубическая кривая)

$$P(t) = (1 - t)^3P_0 + 3(1 - t)^2tP_1 + 3(1 - t)t^2P_2 + t^3P_3;$$

четвертого порядка

$$P(t) = P_0(1-t)^4 + 4P_1t(1-t)^3 + 6P_2t^2(1-t)^2 + 4P_3t^3(1-t) + P_4t^4;$$

пятого порядка

$$P(t) = P_0(1-t)^5 + 5P_1t(1-t)^4 + 10P_2t^2(1-t)^3 + 10P_3t^3(1-t)^2 + 5P_4t^4(1-t) + P_5t^5.$$

На рис. 7 показана интерполированная кубическим сплайном спинка.

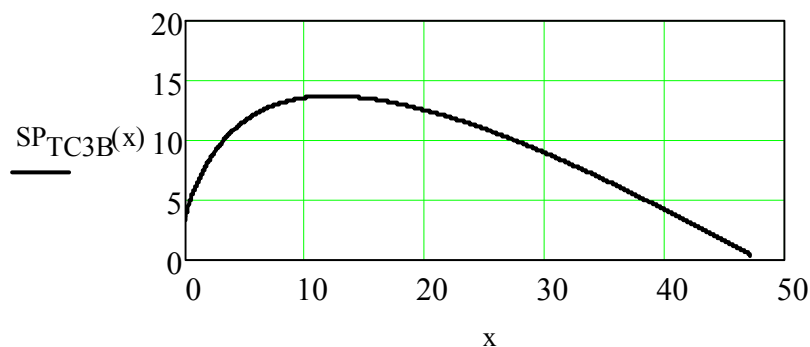


Рис. 7. Интерполяционный контур спинки профиля ТС-3Б

Таким образом, проведенная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Разработаны для ЭВМ на языке *Mathcad* программы, проектирования профиля лопатки с обводами в виде кривых *Bezier* 1-го – 5-го порядков, являющаяся программным модулем *CAD* системы проектирования проточной части газотурбинного двигателя.

2. Оценка коэффициента корреляции показала, что аппроксимация обвода спинки выполнена достаточно удовлетворительно $r=0,998712$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Виноградов Л.В., Алексеев А.П., Костюков А.В. ПРОФИЛЬ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ИЗ КРИВЫХ BEZIER//Вестник РУДН, Серия «Инженерные исследования», 2013, №3 – с.10-16.
- [2] Кустарев Ю.С., Костюков А.В. ОСЕВЫЕ ТУРБИНЫ ТРАНСПОРТНЫХ ГТД : Учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2006. – 72 с.

СНИЖЕНИЕ ПУТЕВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЕМ

Н.Н. Патрахальцев, д.т.н., профессор

Р.О. Камышников, аспирант

Э.А. Савастенко, аспирант

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей

Российский университет дружбы народов

117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Статья посвящена проблеме использования на существующих авто-тракторных дизелях метода их регулирования изменением рабочего объема двигателя при работе на режимах малых нагрузок и холостых ходов.

Ключевые слова: дизель, повышение экономичности, отключение цилиндров, изменение рабочего объема двигателя

Проблема дальнейшего повышения экономических показателей работы дизелей является актуальной во всём мире. В настоящее время в Европе только количество легковых автомобилей с дизелями достигло 60% от их общего парка, что стимулируется прежде всего высокими показателями по топливной экономичности таких двигателей. В то же время в современных условиях эксплуатации всё более увеличивается доля режимов малых нагрузок и холостых ходов, а это приводит к повышенным часовому и путевому расходам топлива и ухудшению экологических качеств дизелей. Одним из методов повышения экономичности режимов малых нагрузок и холостых ходов является метод отключения части цилиндров или циклов дизеля при работе на таких режимах [1]. Метод иначе называется методом регулирования дизеля изменением его рабочего объема и в простейшем случае реализуется отключением подач топлива в отключаемые цилиндры. Экспериментальные исследования метода и реализующих его средств являются дорогостоящими и длительными. Поэтому целесообразной является предварительная, до экспериментальных исследований, оценка возможностей снижения путевого расхода ав-

томобиле при работе дизеля, регулируемого изменением рабочего объёма, на режимах малых нагрузок и холостых ходов.

Методика такой оценки является расчётно-экспериментальной, так как основана на использовании экспериментальных универсальных характеристик исследуемого дизеля по удельному расходу топлива (g_e) [2]. Такие характеристики перестраиваются из обычно используемых координат M_e (или p_e) – n в координаты $L_{уд}$ – n , т.е. удельной работы – частоты вращения. Основанием для такого перестроения является тот факт, что при сравнении показателей полноразмерного дизеля (с числом цилиндров i) с дизелем, работающим с частью отключённых цилиндров (z активных, т.е. не выключенных цилиндров) должно соблюдаться условие, что в обоих случаях дизель выполняет одну и ту же полную работу $L_{полн.} = L_{полн} = 2 \cdot \pi \cdot M_e$ [Дж]. Тогда удельная работа полноразмерного дизеля $L_{уд} = L_{полн.}/(i \cdot V_h)$ [Дж/(дм³)], а удельная работа дизеля, регулируемого изменением рабочего объёма, равна $L_{уд} = L_{полн.}/(z \cdot V_h)$, где V_h – рабочий объём одного цилиндра. В методику входят также уравнения движения автомобиля, т.е. определения мощности, необходимой при данных скоростном и нагрузочном режимах движения автомобиля. Методика реализуется при допущении, что абсолютные значения механических потерь в дизеле не зависят от числа активных цилиндров и от уровня нагрузки, а только от частоты вращения. Возможность такого допущения определяется тем, что известные методы определения абсолютных значений механических потерь основаны либо на прокрутке вала двигателя от постороннего источника при отключённых подачах топлива в цилиндры, либо на обработках характеристик выбега дизеля при отключении цилиндров (что технически аналогично методу регулирования дизеля изменением его рабочего объёма).

Методика оценки возможности повышения путевой экономичности двигателя при его регулировании изменением рабочего объёма реализуется следующим образом. Пусть потребная мощность автомобиля определяется заданным уравнением, например, $N_a = 0,0031 \cdot (v_a^{2,8})$. Тогда на универсальной характеристике (рис. 1) строится зависимость $N_e = f(n)$ для полноразмерного двигателя. Точки пересечения этой характеристики с ординатами скоростей автомобиля $v_a = 7, 10, 13, 16, 19$ м/с дают значения g_e для полноразмерного дизеля и соответствующую характеристику $g_e = f(v_a)$ для 8ц [3]. При известных мощностях получаем и строим характеристику изменения часового расхода топлива $G_T = f(v_a)$ для 8 ц. При известности скоростей получаем характеристику путевого расхода $Q_T = f(v_a)$ для 8 ц.

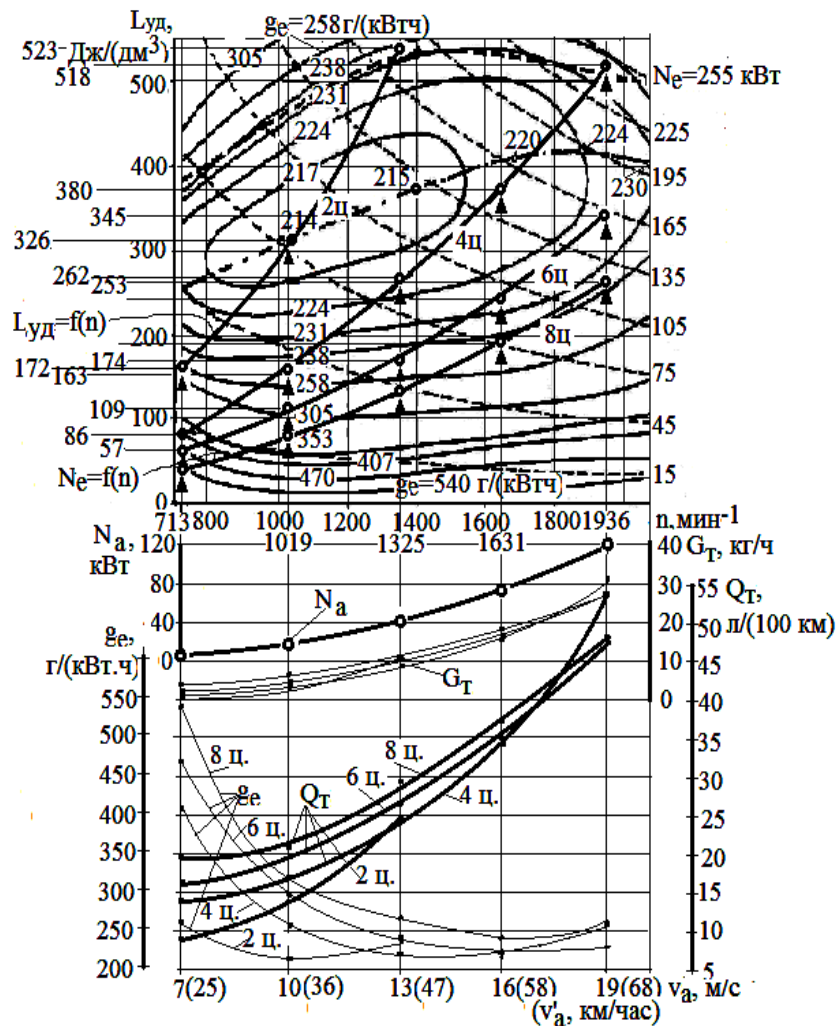


Рис. 1. Применение многопараметровой характеристики дизеля типа ЯМЗ-238 (8 ЧН 13/14), перестроенной в координаты $L_{уд} - n$, для построения характеристик расходов топлива при установившемся движении автомобиля и заданной характеристике мощности, потребной для движения автомобиля (N_a), при регулировании двигателя изменением числа работающих цилиндров ($i = 8 \text{ ц.}, z = 6 \text{ ц.}, 4 \text{ ц.}, 2 \text{ ц.}$).

Затем при тех же значениях мощности дизеля, но уже с частью отключённых цилиндров, определяем значения удельных работ дизеля с числом цилиндров, например, $z = 6$. И повторяем операции, изложенные

выше, получая характеристики $L_{уд}, g_e, G_T, Q_T = f(v_a)$ уже для дизеля с числом активных цилиндров, равным шести. Аналогичным образом выполняются операции построения характеристик для дизеля с числом активных цилиндров 4 и 2.

Из рисунка следует, что на скоростных режимах от минимального до $n = \sim 1020$ об/мин целесообразно (с точки зрения минимизации расходов топлива) работать на двух (активных) цилиндрах. В диапазоне частот от ~ 1020 до ~ 1630 - на четырёх, а в диапазоне частот от ~ 1630 до номинальной – на шести. Все восемь цилиндров активируются при необходимости выполнить ускорения или преодолеть повысившееся дорожное сопротивление или подъём. Видно, что в области низких скоростей движения автомобиля возможно отключение до 6 цилиндров. При скорости около 13 м/с режим работы дизеля на двух цилиндрах выходит за внешнюю скоростную характеристику. Т.е. такие режимы невозможны. Отключением двух или четырёх цилиндров достигается выигрыш в расходе топлива до скорости около 16 м/с.

Следует отметить, что, снижения расходов, полученные по применяемой методике, т.е. в идеальных условиях реализации, для получения реальных численных значений могут быть уменьшены на 40 – 50 %. Таким образом, они могут составить от 6 до 25 % для минимальной скорости. При скорости автомобиля 13 м/с (47 км/час) экономия путевого расхода топлива может составить 5 – 10 %. При скорости 58 км/час можно ожидать лишь 2 – 5 % экономии топлива.

Разработана новая методика оценки путевого расхода топлива автомобилем с дизелем, регулируемым изменением рабочего объёма. Усовершенствована методика расчётно – экспериментальной оценки удельной экономичности дизеля при реализации метода регулирования рабочего объёма дизеля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Балабин В.Н. Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров. Монография. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007 – 143 с.
- [2] Патрахальцев Н.Н., Никишин И.А., Петруня И.А. Повышение экономичности режимов малых нагрузок дизеля КАМАЗ-740 изменением его рабочего объёма // Грузовик &. - 2013. - № 5. - С. 31 – 34.
- [3] Автомобильные двигатели: учебник для студ. высш. учебн. заведений / [М.Г. Шатров, К.А. Морозов, И.В. Алексеев и др.] / Под ред. М.Г. Шатрова. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.- 464 с. – С. 238 – 242.

Секция – 14
Геодезия и маркшейдерское дело

ОБ ОПЫТЕ ГОДОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

К.М. Мурин,

Кафедра геодезии и маркшейдерского дела
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, д.3, Москва, Россия, 115419

Ключевые слова: нагрузка на недра, сложные горно-геологические условия, месторождение полезных ископаемых, техническое регулирование.

Современные реалии в добывающей промышленности, в частности в нефтегазовом комплексе, связанные с возросшей нагрузкой на недра и неизменным нарастанием сложности горно-геологических, горнотехнических условий и применяемых технологий диктуют необходимость совершенствования технического регулирования осуществляемых мероприятий.

В соответствии с п. 2 части II статьи 22 Закона Российской Федерации «О недрах» пользователь недр обязан обеспечить соблюдение требований планов и схем развития горных работ. Порядок реализации указанных законодательных требований определен разделом IV «Правил охраны недр» (ПБ 07-601-03), утвержденных постановлением Госгортехнадзора России от 06.06.2003 № 71 (зарегистрированы Минюстом России 18.06.2003 № 4718) и «Инструкцией по согласованию годовых планов развития горных работ» (РД 07-330-99), утвержденной постановлением Госгортехнадзора России 24.11.1999 № 85 (зарегистрирована Минюстом России 10.12.1999 №2000).

Законом Российской Федерации «О недрах» не зря предусмотрена такая возможность. И если в горнорудной промышленности механизм годового планирования работ применяется давно и весьма успешно, то при разработке месторождений углеводородного сырья, положительный опыт годового планирования работ в необходимом объеме, с необходимым качеством и использованием всех возможных механизмов планирования, применяют не все недропользователи.

Чтобы не быть голословным, можно обратиться к опыту группы компаний «ТНК-ВР» которые обеспечивают необходимое качество годового планирования на основе согласованных с Ростехнадзором

«Методических указаний по составлению годовых планов развития горных работ при разработке месторождений углеводородного сырья нефтегазодобывающими организациями группы компаний ТНК-ВР».

Сложность и изменчивость горно-геологических условий не позволяет на стадии проектирования разработки месторождения предугадать все возможные ситуации. Участок недр это сложная динамическая система чутко реагирующая на влияние как экзогенных так и эндогенных факторов.

Как показывает опыт, различных горно-геологических и горнотехнических проблем возникающих при разработке месторождений углеводородного сырья не мало, и зачастую корректировки, вносимые в проектные документы, требующие длительной бюрократической процедуры согласования, могли бы решиться намного оперативней - через механизм годового планирования.

Учитывая специфику разработки месторождений углеводородного сырья неизменно возникают ситуации, требующие принятия обоснованных технических решений, уточняющих проектные документы с учетом конкретной обстановки. И такие решения с их обоснованием вполне вписываются и могут осуществляться в формате плана развития горных работ.

К сожалению, нужно отметить тот факт, что имеют место случаи, когда разрабатываются годовые планы развития горных работ при разработке месторождений углеводородного сырья не содержащие в полном объеме мероприятий по промышленной безопасности, графических материалов, пояснительных записок и табличных материалов, что снижает качество принимаемых технических решений по обеспечению промышленной безопасности, включая вопросы предупреждения техногенных аварий и катастроф.

При этом из-за низкого качества планов развития горных работ нефтегазодобывающие предприятия вынуждены разрабатывать многочисленные технико-экономические обоснования отдельных технологических операций, таких как планы работ по проведению консервации скважин, планов пробной эксплуатации разведочных скважин, материалы на обоснование переводов скважин с одного горизонта на другой и другие виды работ, и иных видов работ, являющихся составной частью годового планирования, что приводит к увеличению административных барьеров, затрудняющих деятельность нефтегазодобывающих предприятий, и приводят к дополнительной нагрузке на территориальные органы, отвлечению инспекторского состава от надзорной деятельности.

Исходя из опыта последних нескольких лет рассмотрения планов развития горных работ в центральном аппарате Федеральной службы по

экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) можно сделать выводы о стабильной положительной результативности применения данного механизма. Его реализация позволяет нейтрализовать или значительно снизить риски по вопросам компетенции Ростехнадзора с использованием следующих возможностей:

- согласование сроков реализации мероприятий с центральным аппаратом Ростехнадзора, уточнения с его сотрудниками понимания спорных вопросов;
- согласование работ с имеющимися нарушениями под условия протокола рассмотрения ПРГР;
- выяснения приоритетов в деятельности Ростехнадзора на предстоящий год и учета их при планировании работ;
- создания в Ростехнадзоре имиджа добросовестного недропользователя;
- создания документальной базы технической обоснованности правильности планируемых решений и др.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОРНЫХ СТАПЕЛЬНЫХ БЛОКОВ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УКРУПНЯЕМЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.Е. Кирков¹, ассистент

1 – Кафедра маркшейдерского дела и геодезии
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены вопросы влияния устойчивости основных несущих элементов сборочного стапеля на геометрические параметры укрупняемого сталебетонного пролетного строения. Приведены данные по конструкции опорных блоков, инженерно-геологическим условиям, методике выполнения наблюдений за вертикальными перемещениями элементов сборочного стапеля и укрупняемого пролетного строения и полученным результатам. Выполнен анализ графических материалов и сделаны выводы по результатам выполненного анализа.

Ключевые слова: мониторинг, сталебетонное пролетное строение, стапель, оседания, стройподъем.

В настоящее время при строительстве мостовых переходов и путепроводов сложной геометрической формы в плане, как правило, применяется сталебетонная конструкция пролетного строения. В основании такого типа пролетного строения лежит стальная конструкция, по верху которой укладывается железобетонная плита под проезжую

часть. Само пролетное строение состоит из отдельных стальных блоков, которые изготавливаются на заводах и доставляются к месту строительства моста. На стройплощадке оборудуются специальные участки по укрупнительной сборке доставленных блоков в элементы пролетного строения более крупного размера, состоящего из 2, 3, 4 или 6 блоков. После этого укрупненные блоки монтируются на опоры и стыкуются между собой, образуя единое пролетное строение.

Стыковые соединения между отдельными блоками бывают различных типов: фрикционные (болтовые), цельносварные и комбинированные (болто-сварные). Все указанные типы стыков имеют очень высокие требования к выставлению геометрических параметров пролетного строения. При укрупнительной сборке выполняют геодезический контроль планового положения (стрелы прогибов от хорд на участках кривых) и высотного положения укрупняемых конструкций (строительный подъем). Требования к точности взаимного положения собираемых элементов: отклонения от осей допускается *не более ± 2 мм на 20 метров* пролетного строения, по величине стройподъема *0 мм*.

Для выполнения требований к точности геометрии собираемого пролетного строения на участках укрупнительной сборки оборудуются специальные стапеля, состоящие из опорных блоков. Эти блоки являются основным несущим элементом конструкции стапеля и позволяют обеспечить необходимые геометрические параметры собираемых конструкций. Соответственно от устойчивости этих блоков будет зависеть сохранность геометрических параметров пролетного строения.

В летнее и зимнее время вопрос устойчивости опорных блоков решается путем подготовки соответствующего основания под ними. Основные сложности начинаются в весеннее время.

Для выявления влияния устойчивости опорных блоков на геометрические параметры пролетного строения была выполнена серия наблюдений за вертикальными перемещениями опорных блоков 1 сборочного стапеля на строительстве путепровода на 41 километре Новоприозерского шоссе в Ленинградской области.

В качестве основного элемента опорного блока выступал блок ФБС с металлической обвязкой, выполненной стальным уголком, для крепления упоров. Опорные блоки анкерились к плитам основания площадки.

В геологическом плане в основании стапелей находились неустойчивые, сильно обводненные породы. Оборудование стапелей выполнялось в зимнее время. Места расположения стапелей отсыпались песком и закрывались дорожными плитами. Укрупнительная сборка началась в феврале-апреле. В это время была отмечена частичная оттайка грунтов в основании стапелей. Для проведения мониторинга выполнено закрепление нескольких точек на опорных блоках, которые были связаны

между собой системой нивелирных ходов. В качестве опорного репера использовался ближайший пункт принудительного центрирования. Нивелирование выполнялось короткими лучами с использованием миллиметровой шкалы нивелирных реек. При смене станции обязательно осуществлялось нивелирование не менее 2 переходных точек. На новой станции горизонт инструмента, получаемый из нивелирования переходных точек должен иметь одно и то же значение. При несовпадении значения горизонта инструмента ход полностью переделывался. Описанная методика позволила обеспечить высокую точность определения высотных перемещений опорных блоков.

Серии наблюдений выполнялись до сварочных работ, в процессе выполнения сварки нижнего пояса стыкового соединения и после окончания сварочных работ. 1 серия выполнялась до сварочных работ. 2 серия после сварки нижнего пояса 23 стыка по плети А. 3 и 4 серии при выполнении аналогичных работ на 23 стыке плети Б и 24 стыке обеих плетей.

На рис. 1 приведены данные по оседаниям опорных блоков в каждой серии наблюдений. Анализ данных, представленных на рисунке, позволяет сделать следующий вывод: опорные блоки оседают неравномерно, что говорит о неоднородности основания стапеля.

На рис. 2 представлены данные по поведению отдельных балок в районах стыков. Анализ данных рис. 2 позволяет сделать следующий вывод: на поведение конструкции большое влияние оказывают сварочные работы. Это связано с тем, что они вносят дополнительные деформации, с одной стороны, и добавляют жесткую связь между отдельными элементами конструкции с другой стороны. Это связь кардинальным образом меняет поведение укрупняемой конструкции.

На рис. 3 представлены данные по колебанию стройподъема по 23 стыку. Анализ данных рис. 3 полностью подтверждают выводы, полученные при анализе перемещений элементов конструкции (рис. 2).

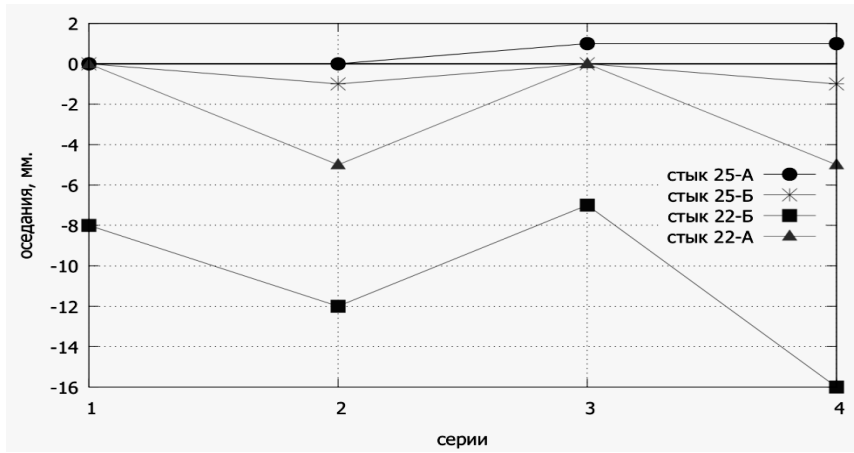


Рис 1. Оседания опорных блоков.

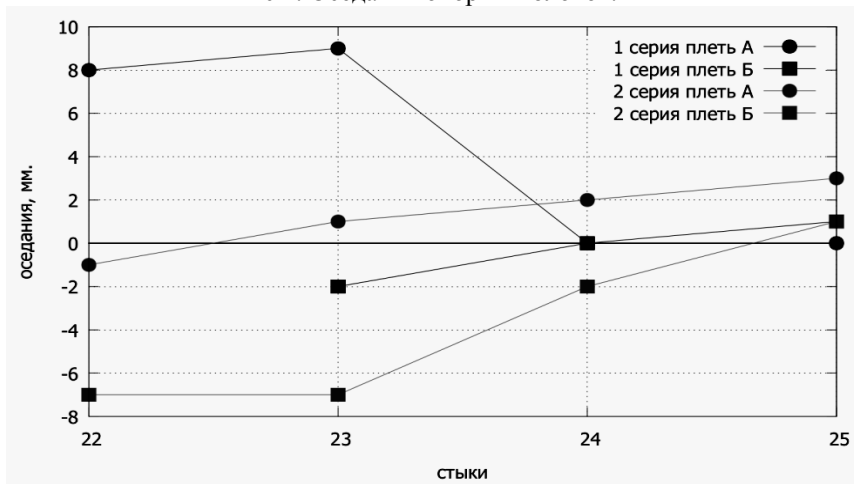


Рис 2. Оседания балок в районе стыковых соединений.

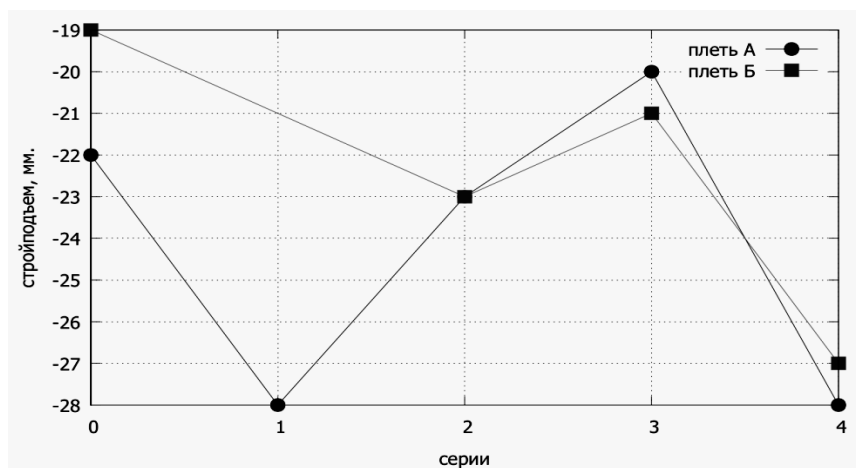


Рис. 3. Колебания стройподъема по стыку 23.

Однако при анализе рис. 3 необходимо помнить, что на нем изображены данные по суммарному влиянию сварочных деформаций и перемещений опорных блоков. Согласно регламенту по сборке и сварке пролетных строений на рассматриваемом путепроводе величина сварочных деформаций исследуемого стыка не должна превышать 2 мм.

Анализ величин, на которые изменяется значение стройподъема, показывает: величина колебаний стройподъема, вызванных неравномерным оседанием отдельных опорных блоков и сварочными работами достигает по абсолютной величине 8 мм, что превышает допуск для данного стыка. Так же необходимо отметить, что при укрупнительной сборке по два блока основное влияние устойчивости опорных блоков будет оказано до начала сварочных работ. После установления жесткой связи между отдельными частями конструкции (их сварки между собой) оседания отдельных опорных блоков влияют только на пространственное положение собираемой конструкции.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что устойчивость опорных блоков сборочного стапеля является основным фактором, позволяющим обеспечить геометрические параметры конструкции стелебетонного пролетного строения.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ НЕТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБАХ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.Н. Есина, к.т.н.

Кафедра геодезии и маркшейдерского дела
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, д.3, Москва, Россия, 115419

Получили развитие методы управления геомеханическими процессами при скважинных способах освоения месторождения твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: скважинная геотехнология, месторождение полезных ископаемых, геомеханические процессы.

В последние десятилетия в связи с истощением месторождений с благоприятными природными условиями наблюдается устойчивая тенденция к увеличению глубины ведения горных работ, усложнению горно- и гидрогеологических условий разработки, а также к ухудшению качества добываемого сырья.

В данных условиях эффективными оказываются скважинные способы освоения, при которых все технологические процессы производятся без непосредственного нахождения людей в местах залегания полезного ископаемого. При этом создаются преимущества скважинной геотехнологии перед обычными способами добычи ресурсов, которые позволяют по-новому оценивать как известные месторождения полезных ископаемых, так и вновь открываемые, обеспечивая повышение технологической, экономической и экологической эффективности освоения недр [1].

Геомеханическое обеспечение необходимо на всех стадиях освоения – от проектирования – до ликвидации горного предприятия. Под технологическими методами управления геомеханическими процессами понимают совокупность научно обоснованных технологических приемов или операций, позволяющих при освоении недр целенаправленно изменять состав, строение, свойства и состояние массива горных пород и обеспечивать развитие процессов его деформирования и разрушения, а также фильтрации подземных вод, в заданных направлениях, объемах в установленных пространственно-временных пределах [2].

При традиционных способах добычи решается прямая задача геомеханики: по известным параметрам выработки (форме, размерам и местоположению) определяются расчетным путем ожидаемые сдвигения и деформации земной поверхности, которые затем сравниваются с фактическими данными наблюдений на земной поверхности и с

допустимыми их значениями. Отличительной особенностью геомеханического обеспечения скважинной геотехнологии является дистанционность процесса выемки полезного ископаемого и связанное с этим отсутствие возможности визуального наблюдения и регистрации проявлений процесса сдвижения непосредственно в очистном забое. При этом с целью установления параметров процесса сдвижения и своевременного прогнозирования сдвижения земной поверхности необходимо определять местоположение и размеры выработанного пространства косвенным путем, решая обратную задачу геомеханики.

Решение обратной геомеханической задачи заключается в определении параметров выработанного пространства по наблюдаемым сдвижениям и деформациям земной поверхности на основе использования установленных закономерностей развития геомеханических процессов. Так, в зависимости от соотношения местоположения характерных точек мульды сдвижения и границ выработанного пространства можно определять параметры выработки – местоположение, размеры и форму.

Для прогноза развития геомеханических процессов при скважинной добыче полезных ископаемых необходимо определять ожидаемые деформации и сдвижения земной поверхности разработан специальный метод расчета ожидаемых деформаций земной поверхности, позволяющий учитывать специфику образования выработанного пространства при скважинной геотехнологии [3].

Для прогнозирования обрушения кровли в выработанном пространстве, обеспечения безопасного ведения горных работ и соответственно своевременного управления полнотой и качеством извлечения полезного ископаемого из недр необходимо определить критериальные признаки, предшествующие потере устойчивости кровли [4]. Так, получено выражение для определения предельного пролета от наблюдаемых горизонтальных деформаций на земной поверхности и прочностных свойств горных пород:

$$l_1 = h \sqrt{\frac{3\varepsilon E}{0,4\tau_{\max}}}, \quad (1)$$

где h — мощность слоев кровли, м; ε_T — горизонтальные деформации слоя толщи горных пород; E — модуль упругости, МПа; τ_{\max} — максимальные касательные напряжения, МПа.

Также установлена зависимость горизонтальных деформаций поверхности слоя толщи горных пород ε_T от измеренных деформаций на поверхности ε_{II} .

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{II} \cdot \sqrt{\frac{H}{H_T}}, \quad (2)$$

где H — глубина залегания пласта, м; H_T — расстояние от плоскости пласта до толщи горных пород, м.

На этапе опытного опробования скважинной геотехнологии необходимо установить оптимальные размеры выработанного пространства при заданных условиях деформирования земной поверхности и сохранности наземных элементов геотехнологии и сооружений на поверхности.

Для реализации этого рекомендуется создание площадной наблюдательной станции на земной поверхности в виде сетки с реперами в вершинах квадратов над всей предполагаемой областью сдвижения.

Основным методом наблюдений за сдвигами на земной поверхности для применения на территории участков, обрабатываемых скважинными способами, являются маркшейдерские наблюдения с заданной периодичностью, проводимые до окончания процесса сдвижения, которые позволяют определять:

- оседания земной поверхности путем измерения высоты точек;
- горизонтальные деформации на основе измерения расстояний между точками.

Значения остальных показателей сдвижений вычисляются на базе полученных величин оседаний и планов оседаний поверхности [5].

Для установления оптимального коэффициента извлечения следует выполнять сравнение графиков измеренных сдвижений и деформаций земной поверхности от объемов добываемого полезного ископаемого. Искомой величиной извлечения являются предельные значения деформаций для объектов геотехнологии на земной поверхности, попадающих в зону влияния очистного пространства, для поддержания бесперебойного и безаварийного функционирования геотехнологической системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иофис М.А., Гришин А.В., Есина Е.Н. Сдвижение горных пород и земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие - М.: РУДН, 2011. -103 с.
- [2] Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; Под редакцией К.Н.Трубецкого.- М.: Издательство Академии горных наук, 1997. – 478 с.
- [3] Иофис М.А., Есина Е.Н. Особенности расчета сдвижений и деформаций земной поверхности при скважинной гидродобыче полезных ископаемых / Вестник Российского университета дружбы народов //

Серия инженерные исследования, № 3, 2012г. – С 18-23.

[4] Иофис М.А., Есина Е.Н. Совершенствование методов оценки состояния кровли горных выработок / Горная геомеханика и маркшейдерское дело: сборник научных трудов. – СПб.: ВНИМИ, 2009. – С. 103-108.

[5] Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03), 2003.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Алафар Халиль Саид (Сирия), аспирант
Кафедра геодезии и маркшейдерского дела
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 117923

Рассмотрены факторы деформационно-пространственной стабильности горных пород при строительстве подземных сооружений. Определен состав факторов деформационно-пространственной стабильности грунтов. Сформулировано понятие о деформационно-пространственной стабильности грунтов – как способность грунта сохранять пространственную форму и размеры в условиях естественных и техногенных нагрузок и воздействий.

Ключевые слова: Сирия, деформационно-пространственная стабильность горных пород, подземные сооружения, набухающие грунты.

В Сирии в связи с ведущимся городским строительством подземных сооружений (ПС) актуализирована проблема деформационно-пространственной стабильности грунтов. Поскольку в городской геосреде встречаются как горные породы, так и техногенные грунты, то использование термина «грунт» для городской геосреды более правомерно, чем «горная порода».

Существует несколько аспектов указанной проблемы деформационно-пространственной стабильности грунтов при строительстве ПС, устойчивость грунтов может нарушаться в результате воздействий разного характера:

- в строительный период имеют место нагрузки, проявляющиеся в результате проведения работ и распространяющиеся на расстояние, ограниченное интенсивностью применяемых технологий;
- нагрузки на природное основание ПС со стороны самого ПС в

строительный период и во время эксплуатации;

- интенсивные технологии строительства генерируют нагрузки, способные воздействовать на соседние здания и сооружения;
- воздействия и нагрузки естественного происхождения (землетрясения, наводнения и др.) и местные техногенные нагрузки (транспортных, экологических и др).

Строительство подземных сооружений в черте городской застройки способно оказать опасное воздействие на уже существующие здания, сооружения и инженерные коммуникации окружающей застройки.

Свойства горных пород во время строительства и эксплуатации ПС претерпевают существенные изменения состояния, структуры и состава в пределах области взаимодействия ПС с массивом горных пород.

Общие представления и характеристики грунтов. В табл. 1 и 2 приведены некоторые классифицирующие показатели грунтов – от песчаных до глинистых.

Из сопоставления данных табл. 1 и 2 можно сделать вывод, что песок представляет собой систему из минеральных частиц, связь между которыми минимальна – это несвязный грунт. Далее, в ряду от супеси до глины сила связи между минеральными частицами непрерывно возрастает за счет увеличения доли глинистой компоненты. Глины, супеси и суглинки относятся к связным грунтам.

Таблица 1

Классификация грунтов по содержанию глинистых частиц и числу пластичности [2]

№ п/п	Наименование грунта	Содержит частиц < 0,005 (%)	Число пластичности J_p
1	Глины	> 30	> 0,17
2	Суглинок	10÷30	0,07÷0,17
3	Супесь	3÷10	0,01÷0,07
4	Песок	< 3	Не пластич.

Таблица 2

Класс природных дисперсных грунтов

Группа	Подгруппа	Тип	Вид
Связные	Осадочные	Минеральные	Глинистые грунты
		Органоминеральные	Илы, заторфованные грунты
Органические		Торфы и др.	
Минеральные		Пески, крупнообломочные грунты	
Несвязные			

Свойства и структура грунтов исключительно разнообразны. Влажность, пористость, плотность, связность и другие свойства грунтов очень важные факторы деформационно-пространственной стабильности грунтов.

Грунты не только механические системы, но и физико-химические

среды, свойства которых определяются взаимодействием фаз – минерального скелета, связующих композиций в узлах пространственной структуры грунта и поровой жидкости. Факторы физико-химического взаимодействия фаз особенно сильны в глинистых грунтах.

Одна из наиболее распространенных технологий обеспечения устойчивости грунтов – консолидация, в ходе которой происходит уплотнение вещества и удаление избытка жидкости. Таким образом, неустойчивый природный грунт с помощью методов консолидации превращается в техногенный грунт с признаками устойчивости.

Факторы устойчивости грунтов. Деформационно-пространственная стабильность грунтов – способность грунта сохранять пространственную форму и размеры в условиях естественных и техногенных нагрузок и воздействий. В случае нарушения деформационно-пространственной устойчивости – выходе параметров за нормативные пределы – наступает деформационно-пространственная нестабильность, а в предельном случае – разрушение. Термин динамическая неустойчивость грунта предложен Е.А. Вознесенским [4], который связал динамическую неустойчивость грунта с повышением вероятности разрушения грунта при динамическом воздействии по сравнению со статическими условиями.

Для предсказания разрушения необходимо иметь представления о закономерностях (фазах) развития деформационно-пространственной нестабильности грунтов. Основные фазы развития процессов деформации и разрушения грунтов:

- грунт в устойчивом состоянии;
- грунт в активной деформации без опасности разрушения;
- грунт в предразрушающей области;
- грунт в стадии разрушения.

Дефектные области в грунтах могут возникать в результате действия различных нагрузок – техногенного или природного характера.

Механические свойства и пределы устойчивости горных пород рассмотрим на примере песчаников .

При описании прочности горных пород получили распространение теории Кулона и Мора. Для несцементированных песчаников эти теории совпадают и дают общий критерий

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где τ - касательное напряжение на некоторой площадке; σ - нормальное к этой площадке напряжение; φ - угол внутреннего трения.

При достижении касательными напряжениями некоторого предельного значения наступает разрушение.

В исследованиях деформирования горных пород в предразрушающей

области и в стадии разрушения также преобладает физико-технический подход. В состоянии сильного сжатия исследовано, как возникают и развиваются дефектно-деформационные диссипативные структуры.

В Сирии достаточно часто встречаются массивы, сложенные неустойчивыми породами – суглинки, супеси, песчано-галечники, увлажненные глины, а также распространяются набухающие грунты, которые занимают значительную площадь[1].

По данным [5] при определенных условиях к набуханию при увлажнении и усадке при потере влаги способны все глины и суглинки. В результате, набухающие грунты могут быть описаны как обратимые системы в отношении поглощения и экстракции из своего объема жидкой фазы.

Один из значимых факторов деформационно-пространственной устойчивости набухающих грунтов – гидродинамический.

По закону Дарси скорость фильтрации w определяется из соотношения[3]:

$$w = \frac{k \Delta P^*}{\eta L}, \quad (2)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с; η – динамический коэффициент вязкости жидкой фазы; L – длина образца, м; ΔP^* – приведенное давление, Па.

Параметры, входящие в (2), можно отнести к группе грунтовых факторов деформационно-пространственной устойчивости грунтов.

Среди методов исследования горных пород наибольшее распространение получили подходы, описывающие напряженно-деформированное состояние пород. Однако число факторов и параметров, которые должны быть учтены при этом, оказывается настолько большим и трудно определяемым экспериментально, что приводит к неоправданно усложненным вычислениям и сложностям интерпретации результатов.

Физико-химический подход определяет природу свойств грунта, кардинально меняющуюся от связных к несвязным грунтам. В частности, этот подход незаменим при описании набухающих грунтов.

На основе обобщения ранее приведенным данным по факторам деформационно-пространственной устойчивости грунтов, составлена классификация факторов, рис.2.

Система факторов деформационно-пространственной устойчивости грунтов имеет сложный структурный характер, что отражает многоуровневую и многопараметрическую природу горных пород.

В зависимости от конкретных обстоятельств- типа грунта, его состояния и характеристик, условий залегания и эксплуатации в составе

сооружения и др. могут быть выполнены определённые оценки деформационно-пространственной устойчивости грунтов.



Рис. 2. Классификация факторов деформационно-пространственной устойчивости грунтов

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Очерки геологии Сирии. Труды Т. 6. Отв. ред. акад. Ю.Г. Леонов. М.: Наука, 2006. [Outline of geology of Syria. Academician. U. Leonov. M.: Nauka, 2006]
- [2] ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация [State Standard 25100-95. Soils. classification]
- [3] Hamza, M. M. Soil Mechanics 1, Publisher of the University of Aleppo(Syria), 1990. 287 p .
- [4] Вознесенский Е. А. Динамическая неустойчивость грунтов / Е. А. Вознесенский. - М.: Эдиториал УРСС, 1999. -263 с.[E.Voznesensky. Dynamic instability of soils - M.: Editorial URSS, 1999. -263 p]
- [5] Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. М.: Стройиздат, 1974. 225 с.[E. Sorochan. Construction of buildings on swelling soils –M.:Stroiizdat,1974. 225 p.]

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады

Дивеев А.И., Софронова Е.А. Численные методы символьной регрессии в задачах управления и идентификации..... 3

Секция 1

Иванов В.Н. Линейчатые поверхности на заданных четырехугольных и треугольных планах..... 15

Якупов С.Н., Якупов Н.М. Изменение характеристик жесткости тонкостенных образцов с системой царапин..... 21

Харисламова Л.У., Якупов С.Н. Механические характеристики пленочных композиций..... 27

Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М. О предельных точках и точках бифуркации в задачах устойчивости равновесия упругих систем..... 32

Кривошапко С.Н., Мамиева И.А. Тонкостенные композитные и пластмассовые конструкции в гражданских и промышленных зданиях..... 42

Клочков Ю.В., Ищанов Т.Р. Сопоставительный анализ эффективности различных форм аппроксимаций полей перемещений в МКЭ при расчете тонких оболочек..... 49

Рынкoвская М.И. Новые технологии в строительстве..... 55

Баженов В.А., Кривенко О.П. Исследование процессов нелинейного деформирования и потери устойчивости упругих оболочек неоднородной структуры..... 58

Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М. О форме пограничных поверхностей в геометрически нелинейных задачах устойчивости..... 64

Якупов Н.М., Ризаева А.И., Хуснутдинов А.Э., Муджадиди А.Ш. Концентрация напряжений в растянутом стержне в области заделки..... 69

Якупов С.Н., Я Абдюшев А.А., Якупов Н.М. Лечащие накладки во фрагменте тороидальной оболочки..... 74

Джабраилов А.Ш. Расчет осесимметрично нагруженных ветвящихся оболочек вращения при учете физической нелинейности применяемого материала на основе теории пластического течения..... 80

Киселев А.П., Гуреева Н.А. Определение напряжений в зонах сочленения пластин с использованием конечных элементов различных конфигураций.....	84
Гуреева Н.А., Клочков Ю.В., Николаев А.П. Определяющие соотношения нелинейно деформируемого упругого тела.....	89
Николаев А.П., Юшкин В.Н. Сравнение вариантов реализации мкэ в смешанной формулировке в варианте метода перемещений.....	93
Нурымбетов А.У., Жунисбеков М.Ш. Колебания стержня прямоугольного сечения.....	97
Крылова Е.Ю., И.В. Папкина И.В., Крысько В.А., Крысько В.А. Математическое моделирование индуцированных шумом переходов в механических системах.....	103
Секция 2	
Хамадияров Д.Б. Синтез системы управления спуском космического аппарата на поверхность Луны методом гибридного параллельного сетевого оператора.....	108
Прокопьев И.В., Захаров Д.Н., Воронин Е.А. Применение современных мобильных устройств на базе Android для управления роботами.....	114
Дивеев А.И., Ибадулла С.И. Синтез системы управления движением робота по пространственной траектории методом вариационного генетического программирования.....	120
Дивеев А.И., Конырбаев Н.Б. Синтез системы управления движением летающего робота по пространственной траектории методом вариационного аналитического программирования.....	123
Доценко А. В. Комплекс программ на C# для моделирования и синтеза систем управления методом сетевого оператора.....	127
Тихомиров А.С. Применение метода сетевого оператора для логического вывода динамической экспертной системы.....	131
Волович М.Е., Дерюгина О.А. Верификация UML моделей программных систем при помощи абстрактной структуры данных UML MAP.....	136
Бобр О.В. Современные методы решения задачи учебного расписания.....	140
Чинакал В.О. Разработка и применение встраиваемых интеллектуальных компонентов, построенных с использованием матричных методов.....	145
Беляев В.В., Попов И.В., Нессемон К.Д., Горбунов А.А. Управление параметрами светодиодного светильника для промышленных помещений.....	151
Забудский Е.И. Оптимизация электромагнитных реакторов на основе метода конечных элементов.....	153

Секция 3

Данг Ф., Дивеев А.И., Софронова Е.А. Метод сетевого оператора для решения задачи синтеза идентификационного управления манипуляционным роботом.....	160
Барышников А.А., Дивеев А.И., Дьяконов В.В., Софронова Е.А. Идентификация математической модели оценки перспективности площадей на выявление полезных ископаемых.....	167
Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Многослойный сетевой оператор в задаче управления группой роботов.....	172
Дивеев А.И., Константинов С.В, Софронова Е.А. Идентификация закона взаимодействия веществ в кинетической модели химической реакции методом сетевого оператора.....	177
Гэн Кэ Кэ, Чулин Н.А. Алгоритм обнаружения движущихся объектов для системы управления квадрокоптера.....	185
Андриков Д.А., Синельщикова М.А., Андриков Д.А., Воронов Е.М. Исследование влияния уровня толерантности на $n\infty$ -робастную стабилизацию движения мотоцикла с учетом технологичности регулятора.....	191
Константинов С.В., Мишинева М.А. Обзор современных популяционных методов глобальной оптимизации.....	197
Карасев В.О. Модель и методика оптимизации объема оборотного фонда запасных частей, обеспечивающего заданные показатели готовности парка воздушных судов.....	203
Суарес Д.А. Модели индивидуальных групповых и коллективных систем отображения информации через дисплей компьютера для ее анализа, обработки и контроля.....	209
Пупков К.А., Шахназаров Г.А. Организация контуров адаптации в динамических человеко-машинных системах управления.....	214
Аль-Баредда Али Яхья Сенан, Пупков К.А. Алгоритм синтеза системы управления методом нейронных сетей.....	221
Габдрахманова И.Т., Федин В.Д. Нейросетевое моделирование нестационарных процессов в нефтепромысловом транспорте.....	225
Пупков К.А., Ибрагим Ф. Формирование мнения коллектива как множества интеллектуальных агентов для достижения цели.....	228

Секция 4

Разин А.Д. Выбор инновационных инженерных решений при проектировании дипломатических объектов.....	233
Чистяков Д. А. Становление и развитие музеев науки и техники.....	235

Секция 5

Микерего Э. Об особенности конструктивного решения высотных зданий, применяемого в республике Бургунди.....	239
---	-----

Шамреева А.А, Манаева М.М. Сравнительный анализ некоторых методов расчета железобетонных конструкций согласно Еврокоду (на примере немецких норм) и российским нормам (СП 63.13330.2012 (СНИП 2.03.01-84) «Бетонные и железобетонные конструкции»)	241
Соколова Т.В. Термическая обработка как фактор оптимизации магнитных свойств аморфного сплава на основе кобальта	249
Секция 6	
Подгонов Н.И. Режимы работы гелиотехнических систем для тепловой обработки бетона	253
Коротеев Д.Д. Анализ законодательных актов в области энергосбережения в строительстве	256
Коротеев Д.Д, Гура Паскаль Маубхи Организационно-технологические особенности строительства многофункционального жилого комплекса в г. Дар-эс-Саламе, Танзания	259
Свинцов А.П. Особенности подготовки высококвалифицированных специалистов в области строительства для России и зарубежных стран	263
Скрипник Т.В. Технологическая надежность и качество конструкций зданий в несъемной опалубке	267
Сташевская Н.А., Малов А.Н., Панин О.В. Тепловые потери зданий и пути их устранения	270
Панин О.В., Верхоглядов А.А. Проектирование систем противопожарной вентиляции с условием обеспечения людей с ограниченными возможностями	273
Малов А.Н., Сташевская Н.А., Димитриади К.Г. Безударная срубка свай	277
Николенко Ю.В., Бабкина Н.Н. Исследование эффективности применения химических реагентов при размораживании грунтов	280
Николенко Ю.В., Абдулина А.М. О проектировании гипсовых композиций	284
Харун Махмуд Эксплуатационная надежность подземных трубопроводов, подвергаемых воздействию коррозии	286
Секция 7	
Антонио Фермин Кампос Седеньо, Синиченко Е.К., Грицук И.И. Объемы сока дождевых осадков районов гидрографической демаркации Манаби (Эквадор)	291
Аргал Э.С. Особенности раскрытия и цементации наклонных температурно-усадочных швов высоких бетонных плотин	296

Рыжанкова Л.Н. Снижение негативной нагрузки на природные условия в современном проекте строительства крупного гидроузла.....	301
Абдалвахаб Ясер, Рыжанкова Л.Н. Проблемы использования водных ресурсов в Сирии.....	305
Штиль А.В. Ледовые процессы в нижнем бьефе Мотыгинской ГЭС.....	310
Имомназаров Т.С. Визуальное исследование ландшафтно-строительной территории на примере природно-исторического парка «Царицыно».....	315
Секция 8	
Е.В. Зубкова Е.В., Нестеров А.Ю. Перспективы нефтегазоносности пермо-триасового комплекса Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области (на примере месторождения Урожайненского).....	320
Секция 9	
Воробьев А.Е., Каукенова А.С. Проблемы при бурении подсолевых отложений на углеводороды.....	327
Воробьев А.Е., Каукенова А.С., Сагын Н.О. Инновационные технологии бурения многоствольных горизонтальных скважин.....	332
Воробьев А.Е., Лысенкова З.В. Современное состояние и тенденции развития нефтегазового комплекса (по материалам зарубежных публикаций).....	336
Каукенова А.С., Власова А.В., Капитонова И.Л. Применение современных тренажеров при изучении дисциплины «Основы разработки шельфовых месторождений».....	338
Капитонова И.Л., Каукенова А.С., Власова А.В. Применение тренажера по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II при изучении дисциплины «Основы добычи аквальных газовых гидратов».....	342
Воробьев А.Е. Хань Сюэ Современный уровень развития китайских буровых установок.....	344
Воробьев А.Е., Сеидов А.А. Рынок буровых установок в Туркменистане.....	346
Воробьев А.Е., Кружков С.В. Газогидратная проблематика.....	348
Воробьев А.Е., Капитонова И.Л. Изучение влияния разрабатываемых методов получения газогидратов на трансформацию аквальных ландшафтов на тренажере по отработке действий в чрезвычайных ситуациях PISCES II.....	351
Воробьев А.Е., Го Хуэйтин Китайские буровые установки серии DBS.....	353

Секция 10

Айгунян М.А. Развитие пространственного мышления средствами интернет-технологий..... 356

Нестеренко М.А. Влияние синтеза дисциплин инженерной и компьютерной графики на формирование профессиональных компетенций у студентов машиностроительных направлений подготовки вузов..... 359

Секция 11

Алексеев В.Б., Щесняк Л.Е., Артемкина Р. Эффективное управление инвестиционными проектами в нефтегазодобывающих компаниях..... 362

Бальхин Г.А., Мясникова О.Ю. Анализ передового опыта совершенствования системы оплаты и стимулирования труда в коммерческом банке..... 367

Андреева Л.О., Лавриненкова Е.О. Роль финансового анализа в системе управления предприятием..... 371

Иванова Т.Б., Екпободо Оввигхо Раймонд Инженерное образование как средство развития экономики..... 376

Кутылева Г.М., Петренко Н.А., Назаренков Е.П., Ромеро Барренчеа Моисес Эсау Аспекты совершенствования системы управления персоналом..... 379

Долгушин В.Д., Красавина В.А., Ахмедова Л.Н. Моделирование конкурентоспособности предприятий оптической отрасли..... 383

Ковалева Е.А., Федотова М.А. Новые подходы к мотивации персонала..... 389

Ковалева Е.А. Корпоративная культура как фактор влияния при формировании и реализации эффективного трудового потенциала... 392

Сопилко Н.Ю., Лисицкая С.М., Ковалев А.А. Мониторинг устойчивости параметров международных технологических цепочек..... 396

Сопилко Н.Ю., Чехарина А.А. Развитие технологических укладов как путь повышения конкурентоспособности России..... 399

Пилов П.И., Пилова К.П. Использование обогащенного угля на тепловых электростанциях – экологические и экономические аспекты..... 403

Кутылева Г.М., Смирнова А.С. Формирование стратегии развития компаний строительной отрасли..... 410

Ершикова М.Л. Особенности деятельности предприятия в условиях кризиса..... 415

Богословская А.Б., Арефьева Ю.Н. Негосударственное пенсионное обеспечение России..... 418

Богословская А.Б., Анармаа Алтангэрэл Роль малого бизнеса в монголии.....	423
Ivanova T.B., Nazmul Hossain Marketing strategies and market entry policy in global market arena.....	428
Кулаков А.В., Назарова Ю.А. Энергоснабжение на базе возобновляемых источников энергии в изолированных районах и на розничном рынке: технологии, проекты, законодательная база....	432
Сорокина В.В., Шпак М.В. Модели ценообразования финансовых активов при оценке инвестиций в недвижимость.....	437
Титов В.С., Кутлыева Г.М., Тубол Д.С. Организационные проблемы малого бизнеса.....	443
Кутлыева Г.М., Долгушин В.Д., Орешкин С.О. Особенности сравнения технико-экономических показателей.....	446
Й.Х.Арельяно Мартинес Модель управления персоналом, обеспечивающая повышение эффективности работы предприятия...	449
Умурпашаев В.В., Кутлыева Г.М. Предприятие как социально-экономическая система.....	453
Ракова Н.И., Хамидуллина Е.Р., Сопилко Н.Ю. Аутсорсинг как способ снижения затрат на предприятии.....	457
Алексеев В.Б., Брицов Р.А. Инновационное развитие в условиях кризиса.....	459
Нуров М. Особенности управления в автомобильной отрасли.....	464
Секция 12	
Попов В.Д. Старение интегральных микросхем при длительном низкоинтенсивном облучении гамма-лучами.....	468
Никельшпарг Э.И, Степанов М.Л., Красильников П.М. О некоторых проблемах создания фотовольтаических устройств на основе природных фотосинтетических реакционных центров.....	472
Бескровный И.М. Кибернетическая модель оператора эргатической системы управления.....	478
Бескровный И.М. Трёхмерная интегрированная модель принятия решений.....	485
Беляев В.В. Создание ощущения «погруженности» с помощью электронных дисплеев.....	491
Яценко А.Н. Мемристоры применение и перспективы.....	495
Малькова М.Ю., Задиранов А.Н. Перспективы создания отечественной редкоземельной промышленности.....	500
Секция 13	
Гусаков С.В., Мохсен Ахмадиниа, Бехджуйан Хоссейн Использование компьютерной программы «Цикл» для оптимизации характеристик комбинированной силовой установки автомобиля.....	506

Гусаков С.В., Белицкий Г.В., Кочеткова Е.А. Сравнение эффективности циклов Отто и Аткинсона при работе ДВС на частичных режимах.....	510
Мамаев В.К., Дубенцов К.В. Стенд для аэродинамических и виброакустических испытаний радиального ЕС-вентилятора.....	515
Антипов Ю.А., Сури Камбиз Утилизация теплоты отработавшего пара в конденсаторах теплофикационных турбинах, работающих в чистовентиляционном режиме.....	520
Гусаков С.В., Новиков В.А. Сравнительный анализ методов индцирования ДВС.....	524
Савастенко А.А., Ощепков П.П., Канчерова Д.А Особенности подачи диметилового эфира в камере сгорания автотракторного дизеля.....	528
Патрахальцев Н.Н., Скрипник Д.С. Снижение выбросов сажи автотракторным дизелем.....	536
Шаталов И.К., Антипов Ю.А., Собенников Е.В., Камбиз Сури Многоступенчатая теплонасосная установка повышенной эффективности.....	541
Алленов Д.Г. Разработка методики расчета деформаций поверхностного слоя при точении.....	546
Стеняев А.В., Рогов В.А Шероховатость поверхностного слоя при алмазном выглаживании.....	552
Эль Эриан Фатма Абдала Мохаммед, Копылов В.В., Соловьев В.В. Расчет запасов ремонтируемых узлов металлорежущих станков.....	555
Базик М.В., Рогов В.А. Создание материалов с управляемыми свойствами.....	560
Виноградов Л.В. Профилирование лопаток турбин кривыми Bezier.....	564
Патрахальцев Н.Н., Камышников Р.О., Савастенко Э.А. Снижение путевого расхода топлива автомобилем.....	571
Секция 14	
Мурин К.М. Об опыте годового планирования развития горных работ при разработке месторождений углеводородного сырья.....	575
Кирков А.Е. Оценка влияния устойчивости опорных ступельных блоков на геометрические параметры укрупняемых мостовых конструкций.....	577
Есина Е.Н. Развитие методов управления геомеханическими процессами при нетрадиционных способах освоения месторождений.....	582
Алафар Хамиль Саид Анализ факторов деформационно-пространственной стабильности пород при строительстве подземных сооружений в Сирийской Арабской Республике.....	585

Научное издание

ТРУДЫ
VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ – 2015»

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*
Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Подписано в печать 14.04.2015 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 34,85. Тираж 200 экз. Заказ 471.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41

Для заметок
