

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

П.Н. Логинов, С.Н. Сидоренко, Д.В. Смирнов

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

Представлены результаты исследования показателей надежности строительных технологических систем с одновременной работой резервных и основных элементов. Зависимость показателей надежности строительных технологических систем с применением одновременного функционирования основных и резервных составляющих производственного процесса позволяет давать оценку эффективности выбранной схемы организации работ.

Ключевые слова: технологические системы, показатели надежности, организация работ.

Основное назначение строительной технологической системы как совокупности взаимосвязанных средств технологического оснащения, строительных материалов, конструкций и исполнителей заключается в выполнении строительно-монтажных работ в регламентированных условиях реализации заданных технологических процессов и операций. В рамках функционирования технологические системы могут находиться в работоспособном и неработоспособном состоянии, что оказывает влияние на возможность создания строительной продукции с показателями, регламентированными проектной документацией в расчетные сроки и с заданным количеством.

Использование методов теории надежности при организации выполнения технологической системой возлагаемых на нее функций позволяет решать задачу так, чтобы вероятность отказа не превышала заданного допускаемого значения. Задача состоит в определении проектных параметров организации работ таким образом, чтобы поверхность предельного состояния строительной технологической системы отсекала область отказа в плоскости распределения.

Процесс функционирования строительных технологических систем представляет собой чередование следующих периодов: работоспособное состояние, отказ, восстановление с последующим продолжением работы, например, деформация арматурного каркаса (рис. 1), неполная фиксация стыковых элементов и т.д.

Отказ одного из параметров технологической системы может быть причиной срывов срока производства работ, введения дополнительных технологических операций, и, как следствие, увеличения затрат. При оценке надежности строительной технологической системы в качестве рабочей гипотезы может быть принято предположение о том, что поток отказов технологической оснастки, конструктивных элементов, исполнителей и т.д., между восстановлениями обладает свойствами ординарности, отсутствия последствия и стационарности. Это означает, что наработка технологической системы может быть описана экспоненциальным законом [1].



Рис. 1. Устранение деформации арматурного каркаса буронабивной сваи

Из теории надежности [2] известно, что надежность системы последовательно реализуемых операций технологической системы ниже надежности самого ненадежного ее элемента или процесса, и с увеличением их количества (n) резко снижается. Поэтому в практике организации технологического строительного процесса различного назначения целесообразно применять резервирование оснастки или элементов технологического оборудования и конструктивных элементов.

При организации строительного производства резервирования технологических систем наиболее часто применяют схему, когда резервные оснастки и элементы работают одновременно с основными. Например, при устройстве буронабивных свай производственное поле разбивают на захватки, на которых производятся работы с обеспечением расчетной производительности, ритма и продолжительности.

При реализации указанной схемы резервирования изменение вероятности пребывания технологической системы в различных состояниях может быть представлено в виде:

$$P'(t) = \lambda_{i-1}P_{i-1}(t) - \lambda_i P_i(t), \quad (1)$$

где $\lambda_{i-1} = \lambda_n = 0$; $0 \leq i \leq n$; $\lambda_i = (k - i)\lambda$; k — общее количество элементов технологической оснастки определенного типа, участвующей в технологическом процессе, из которого n работающих и m резервных элементов; λ — интенсивность отказов одного элемента; $P_i(t)$ — вероятность нахождения технологической системы по истечении времени t в i -том состоянии; i — номер состояния технологической системы, когда из k элементов i отказало: $\sum_0^n P_i(t) = 1$.

В начале реализации технологического процесса при $t = 0$ и $P_0(0) = 1$ уравнение (1) может быть представлено в виде

$$pP'(p) = \lambda_{i-1}P_{i-1}(p) - \lambda_i P_i(p), \quad (2)$$

откуда

$$P_i(p) = \frac{\lambda_{i-1}\lambda_{i-2}\dots\lambda_0}{(p - \lambda_{i-1})(p - \lambda_{i-2})\dots(p + \lambda_0)}. \quad (3)$$

Если принять $i = m + 1$, то выражение для вероятности безотказной работы технологической системы может быть представлено в виде

$$P(t) = 1 - P_{m+1}(t) = \prod_{j=0}^m \lambda_j \sum_{i=0}^m \frac{e^{-\lambda_i t}}{\lambda_i \prod_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^m (\lambda_0 - \lambda_l)}. \quad (4)$$

Из (4) при $n > 1$

$$P(t) = (m+1) \left[\frac{m!}{n(m-n)!} \right]_k^{n-1} \sum_{j=n}^k \frac{(-1)^{j-n} \left[\frac{m!}{n(m-n)!} \right]_m^{j-n} e^{-j\lambda t}}{j}. \quad (5)$$

Одновременно при наличии резервирования среднее время безотказной работы строительной технологической системы составляет

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^m \frac{1}{n-j}. \quad (6)$$

Интенсивность отказов определяется по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{\lambda \sum_{i=0}^m \left[\frac{m!}{n(m-n)!} \right]_k^i \sum_{j=0}^i (-1)^i \left[\frac{m!}{n(m-n)!} \right]_i^j (k-i-j) \cdot e^{-(k-i+1)\lambda t}}{\sum_{k=0}^m \left[\frac{m!}{n(m-n)!} \right]_k^i \sum_{j=0}^i (-1)^j \left[\frac{m!}{n(m-n)!} \right]_i^j e^{-(k-i+1)\lambda t}}. \quad (7)$$

Представленные зависимости показателей надежности строительных технологических систем с применением одновременного функционирования основных и резервных составляющих производственного процесса позволяет давать оценку эффективности выбранной схемы организации работ. Фактическое определение параметров надежности и эффективности выбранной схемы организации строительного производства может быть определено только в ходе реализации технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Свинцов А.П., Малов А.Н., Николенко Ю.В., Глебов Е.А., Гусаков С.В. Надежность санитарно-технической арматуры в эксплуатационных условиях // Водоснабжение и санитарная техника. — 2009. — № 6. — С. 58—64.
- [2] Рябишин И.А. Основы теории и расчета надежности. — Л.: Судостроение, 1971.

RELIABILITY INDICES OF CONSTRUCTION TECHNOLOGICAL SYSTEM WITH RESERVE

P. Loginov, S. Sidorenco, D. Smirnov

Peoples' Friendship University of Russia
Mikluho-Maklaja str., 6, Moscow, Russia, 117198

The investigation results of reliability indices of construction technological system with simultaneous functioning of main and reserve elements are provided. The dependence of reliability indices of construction technological system using simultaneous functioning of main and standby elements of production process enables to evaluate the efficiency of chosen work organization scheme.

Key words: technological system, reliability, reserve elements, failure intensity.