

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРИ РЕМОНТЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

**Фатма Абдалла Эль Эриан**

Кафедра технологии машиностроения,  
металлорежущих станков и инструментов  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

В статье рассмотрены основные положения метода нечеткой логики для управления запасами при ремонте металлорежущих станков. Приведен пример определения оптимальных запасов узлов методом нечеткой логики.

**Ключевые слова:** управление запасами, металлорежущий станок, ремонтное воздействие, нечеткая логика.

Одной из причин простоя технологического оборудования машиностроительного предприятия в процессе ремонта является отсутствие необходимых запасных частей. Задача оптимального распределения материальных и трудовых ресурсов по отдельным временным периодам и обслуживаемым объектам с учетом минимизации и эффективности относится к наиболее сложным.

Разработка моделей управления запасами по классическим схемам моделирования вызывает необходимость принятия определенных допущений, таких как закономерности распределения временных параметров, вероятностный поток заявок на запасные узлы и др. В результате классические модели могут давать решения, не всегда адекватные реальной ситуации.

На процесс управления запасами в ремонтном производстве влияют многие факторы, в том числе и сложноформализуемые, например, вероятность надежности агрегатов (вследствие различных ресурсов наработки), аварийные ситуации, вероятность интенсивности процессов изнашивания. Поэтому найти точные зависимости объем запасных узлов и частей, оказывающих влияние на рациональное функционирование ремонтного производства, затруднительно. Задача управления запасами превращается в сложнорешаемую и многокритериальную.

В этих случаях возможно 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 не-

четкой логике. Этот подход, развиваемый в названных в работах, не требует построения и решения сложных математических зависимостей. Он опирается на сопоставление спроса на данный вид ресурса в рассматриваемый момент времени с количеством ресурса, имеющимся на складе. В зависимости от этого формируется управляющее решение, на основании которого увеличиваются или уменьшаются соответствующие запасы.

Качество нечеткой модели управления существенно зависит от правил и функций принадлежности, описывающих нечеткие значения («термы»). Чем удачнее подобраны нечеткие правила и функции принадлежности, тем адекватнее управленческое решение. Поэтому проблему построения адекватных нечетких правил и функций принадлежности следует считать наиболее актуальной при создании систем управления на нечеткой логике (Fuzzy Logis (FL)). Общая блок-схема принятия решения с применением нечеткой логики показана на рис. 1.

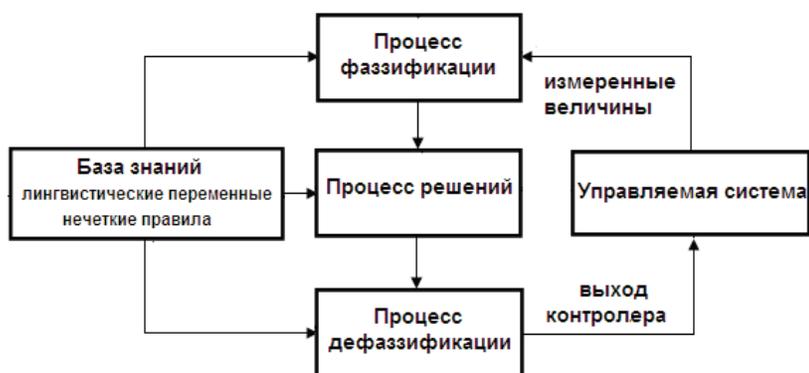


Рис. 1. Блок-схема принятия решения с применением нечеткой логики

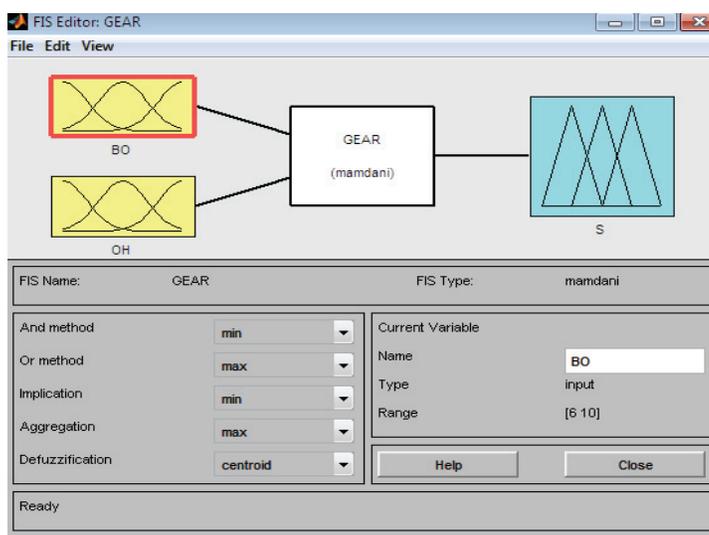
Одним из важнейших компонентов системы управления (в нашем случае управления запасами) является база знаний, которая представляет собой совокупность нечетких правил «...если — то...» («...if — then...»), определяющих взаимосвязь между входами и выходами исследуемой системы.

Процесс применения нечеткой логики осуществляется на трех стадиях: фаззификации (fuzzification), принятия решения и дефаззификации (defuzzification). На стадии *фаззификации* (переход к нечеткости) 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 для преобразования входных данных (параметров) в требуемые управляющие воздействия используется нечеткое условие найденное в базе данных «...если — то...» («...if — then...»). На стадии *дефаззификации* (устранение нечеткости) осуществляется переход от нечетких значений величин («термов») к определенным физическим параметрам, которые могут служить управляющими командами.

Разработка модели нечеткой логики выполняется с помощью графических средств системы Матлаб (сокр. от англ. Matrix Laboratory), которая представляет

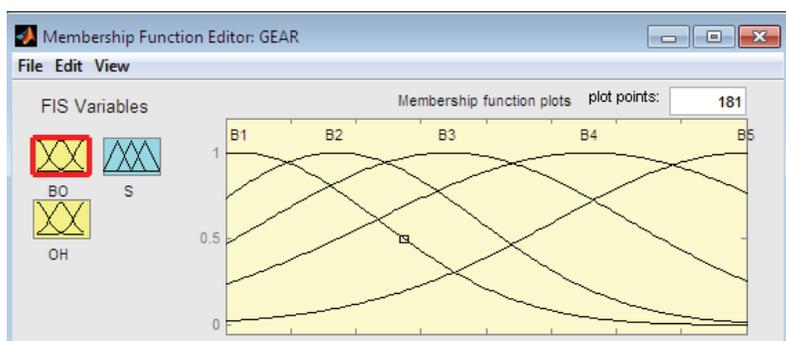
собой пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноименный язык программирования, широко используемый в научных исследованиях и прикладных разработках.

В редакторе нечеткой логики Fuzzy Logis Toolbox можно использовать два входных  $OH(t)$ ,  $BO(t)$  и один выходной  $S(t)$  параметр в моменты времени  $t$ . Для решения поставленной задачи используются параметры представим в соответствии с Centroidmethodom в виде следующих лингвистических переменных (рис. 2).



**Рис. 2.** Редактор GUI для входных и выходных переменных в системе нечеткого вывода

Лингвистические переменные  $BO(t)$  для ввода данных по количеству запрашиваемых для ремонта запасных узлов: B1 — очень низкое; B2 — низкое; B3 — постоянное; B4 — высокое; B5 — очень высокое (рис. 3).



**Рис. 3.** Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству запрашиваемых узлов (BO)

Лингвистические переменные  $OH(t)$  для ввода данных по количеству доступных для ремонта запасных узлов: O1 — очень низкое; O2 — низкое; O3 — адекватно достаточное; O4 — высокое; O5 — очень высокое (рис. 4).

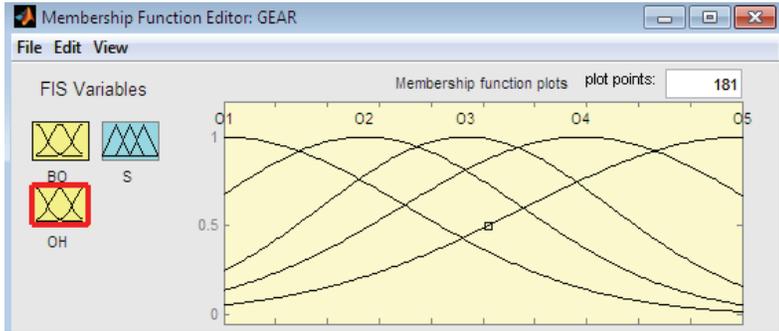


Рис. 4. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству доступных узлов OH

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 (рис. 5).

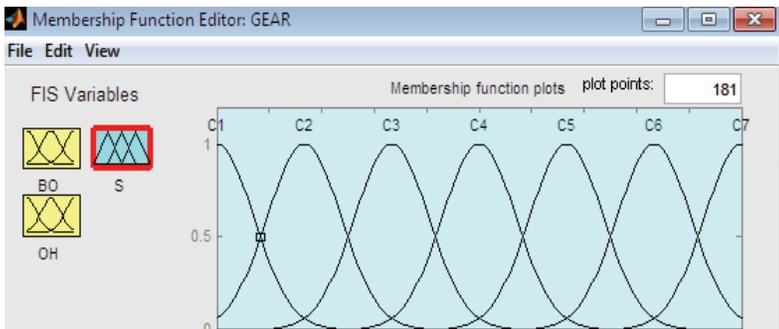


Рис. 5. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных, по уровню запасов (S)

$S$ -уровень запасов узлов на складе в диапазоне  $[0—1]$ , тогда  $C1 = S = 0$ ,  $C2 = S = 0,16$ ,  $C3 = S = 0,33$ ,  $C4 = S = 0,5$ ,  $C5 = S = 0,66$ ,  $C6 = S = 0,83$ ,  $C7 = S = 1$ .

Часть правил, используемых в нечеткой системе управления запасами ремонтируемых, показаны на рис. 6.

Если (- if) ВО очень низкая (B1) и (and) ОН очень высокая (O5), то (then) S необходимо уменьшить резко (C1).

Если (- if) ВО очень низкая (B1) и (and) ОН доступно высокая (O4), то (then) S необходимо уменьшить резко (C1).

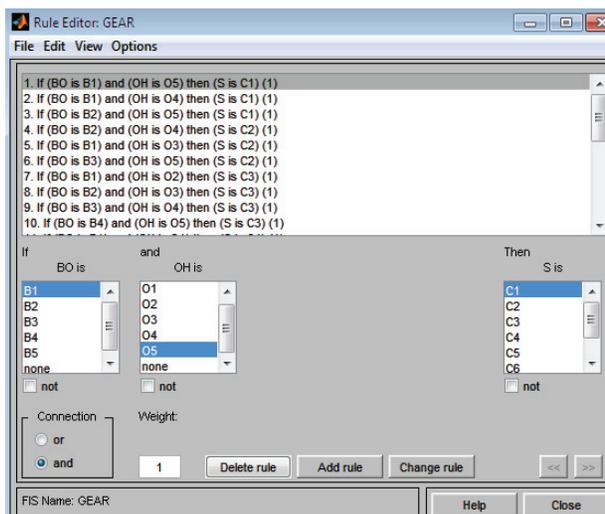
Если (- if) ВО высокая (B4) и (and) ОН очень высокая (O5), то (then) S необходимо уменьшить медленно (C3).

Если (- if) ВО очень низкая (B1) и (and) ОН очень низкая (O1), то (then) S необходимо оставить на прежнем уровне (C4).

Если (- if) ВО низкая (B2) и (and) ОН очень низкая (O1), то (then) S необходимо увеличить медленно (C5).

Если (- if) ВО постоянная (B3) и (and) ОН очень низкая (O1), то (then) S необходимо увеличить уверенно (C6).

Если (- if) ВО высокая (B4) и (and) ОН очень низкая (O1), то (then) S необходимо увеличить резко (C7).



**Рис. 6.** Графический интерфейс (GUI) правил, используемых в нечеткой логике

При формализации нечеткой модели управления осуществляется переход от описательной модели к конкретному математическому наполнению ее. Устанавливается перечень параметров, которые влияют на поведение объекта, — исходные данные. Формализуются зависимости между выделенными параметрами, накладываются ограничения на их допустимые значения.

В технологии ремонтного производства по признаку принадлежности ремонтируемых частей машине или агрегату различают обезличенный и необезличенный методы ремонта. В наших исследованиях, исходя из поставленной задачи (минимизация стоимости приобретения запасных узлов), примем обезличенный, в частности агрегатный метод, при котором не сохраняется принадлежность восстановленных составных частей определенной единице машины или агрегата. Этот метод позволяет значительно сокращать продолжительность ремонта, в короткие сроки восстанавливать работоспособность необходимого количества обслуживаемых станков.

Агрегатный метод ремонта требует наличия оборотного фонда, величина которого зависит от мощности ремонтного предприятия, затрат времени на обмен неисправных агрегатов и машины в целом. Чем производительнее, мощнее и дороже машина, тем выгоднее применение узлового метода ремонта.

Для формализации разрабатываемой модели примем некоторые допущения, позволяющие упростить ее дальнейшее решение.

1. В ремонтном производстве используются большая номенклатура материалов, быстроизнашиваемых частей и деталей, узлов и сборочных единиц. Ввиду большой номенклатуры оригинальных быстроизнашиваемых деталей они не при-

обретаются, а восстанавливаются (или изготавливаются) в ремонтных подразделениях машиностроительного предприятия. Поэтому материалы и оригинальные детали не будут учитываться в наших исследованиях.

2. Под термином «запасные узлы» будем понимать сборочные узлы и отдельные ответственные оригинальные детали универсальных металлорежущих станков.

3. Опыт эксплуатации парка металлорежущего оборудования позволяет установить номенклатуру запасных узлов по каждой группе станков. Однако вероятностный характер процессов изнашивания и различный ресурс работы отдельных узлов и агрегатов приводит к тому, что в каждом конкретном случае восстановления станка запасные узлы используются не в полной (предусмотренной) комплектности. Модели нечеткой логики позволяют учитывать эту особенность. Неиспользованные запасные узлы будут применены в следующих временных периодах. Вопрос более точного учета использования запасных узлов с учетом вероятностных процессов и разных по величине ресурсов требует специального исследования.

4. Осмотры оборудования согласно системе технического обслуживания и ремонта (ТОР) [4] не предполагают использования каких-либо запасных узлов, за исключением аварийных ситуаций. Поэтому осмотры при установлении необходимого объема запасных узлов не учитываются.

Рассмотрим применение метода нечеткой логики при управлении запасами ремонтного производства на конкретном примере.

*Исходные данные.* Процесс управления запасами в ремонтном производстве в обобщенной форме представлен в виде моделирующего алгоритма (табл. 1). Численные значения лингвистических переменных для заданных условий, полученные по моделирующему алгоритму, представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 1

**Моделирующий алгоритм в матричной форме**

<b>Блок 1 Ввод постоянных и переменных данных (по вариантам)</b>		
1.1	Организационная форма и количество технического обслуживания в единицах ремонтной сложности $\Sigma R$	Ц; $\Sigma R = 1000$ Д; $\Sigma R = 2000$ С; $\Sigma R = 3000$
1.2.	Категория ремонтной сложности станка-представителя в каждой группе станков (токарной, сверлильно-расточной, шлифовальной, фрезерной, зубообрабатывающей, прочей)	$R_{гсн}$
1.3.	Структура межремонтного цикла (для станков массой до 10 т)	КР — О — ТР — О — ТР — О — СР — О — ТР — О — ТР — О — СР — О — ТР — О — ТР — О — КР
1.4.	Длительность межремонтного периода, $T_{мр}$ мес.	$T_{мр} = 12$ мес.
1.5.	Продолжительность временного периода, в котором выполняются ремонтные воздействия $T_{1,мес.}$	$T_1 = T_{мр}$ $T_2 = 2T_{мр}$ $T_3 = 3T_{мр}$
1.6.	Балансовая стоимость станков в каждой группе $C_{би}$ , тыс. руб.	$C_{би} = C_c n_i$
1.7	Суммарная балансовая стоимость обслуживаемого оборудования $C$ , тыс. руб.	$C = C_6$
1.8	Оборотные фонды ремонтного производства $\Phi$ , тыс. руб.	$\Phi$ (5, 10, 15% от балансовой стоимости оборудования)
1.9	Стоимость запасных узлов на планируемый период по группам станков и видам ремонтных воздействий, тыс. руб.	$C_3$ (по прайс-листам заводов-изготовителей)
1.10	Пошаговый интервал изменения системного времени $t$ , мес.	$t = T_{мр}$

<b>Блок 2. Компьютерная обработка постоянных и переменных данных</b>		
2.1	Расчет количества обслуживаемых станков в каждой группе $n_i$	$n_i = \beta_i \sum R_{i/cen}$
2.2	Определение числа ремонтных воздействий в каждом временном периоде $R_{вi}$ по группам станков	Исходя из структуры межремонтного цикла и заданной продолжительности временного периода
2.3	Расчет количества запасных узлов по каждой группе обслуживаемого оборудования в натуральных единицах	$K_y = \sum K_y R_{вi}$
2.4	Определение численного значения основного лингвистического переменного ВЗ	ВЗ
2.5	Определение численных значений остальных лингвистических переменных ВО(t)	В1; В2; В4; В5
2.6	Определение численного значения основного лингвистического переменного ОЗ	ОЗ
2.7	Определение численных значений остальных лингвистических переменных ОН(t)	О1; О2; О4; О5
2.8	Определение лингвистических переменных $S(t)$ по уровню запасов на складе ремонтного производства в [0—1]	С1; С2; С3; С4; С5; С6; С7;
<b>Блок 3. Компьютерная использование данных блока 2 в программе Матлаб</b>		
3.1	Ввод в программу данных лингвистических переменных ВО(t) и ОН(t)	Программа Матлаб
3.2	Дефаззификация — осуществляется переход от нечетких значений величин к численным значениям уровня запасов узлов, которое могут служить управляющими командами	Уровни запасов узлов в процентном выражении
3.3	Графическая интерпретация полученных данных( для дальнейшего использования в различных временных интервалах)	Графические зависимости изменения уровня запасов от спроса на запасные узлы

Таблица 2

**Лингвистические переменные ВО(t) по числу запрашиваемых запасных узлов для ремонта заданного парка станков**

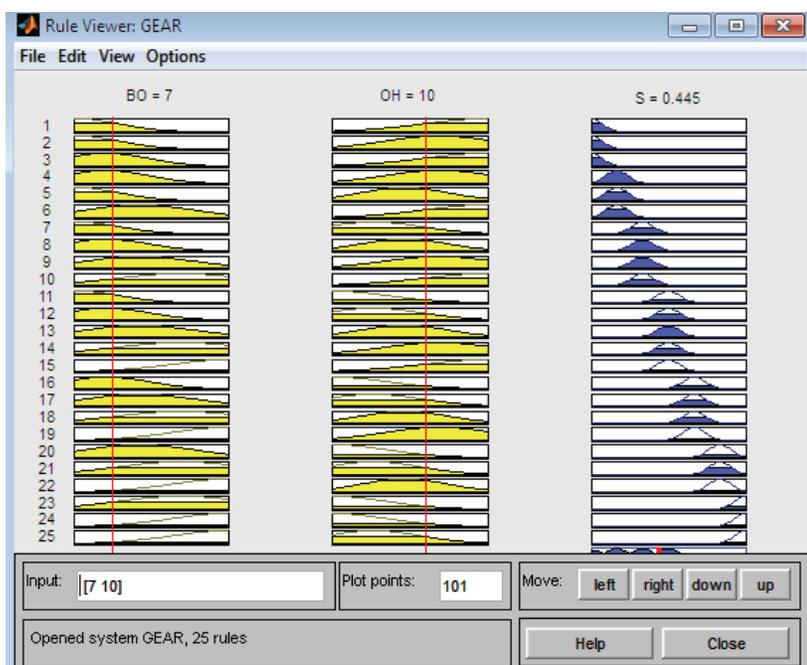
№ п.п.	Группа металлорежущих станков	Значения лингвистических переменных ВО(t) по числу запрашиваемых запасных узлов				
		В1	В2	В3	В4	В5
1	Токарная	236	256	276	296	314
2	Сверлильно-расточная	12	16	20	24	28
3	Шлифовальная	22	27	32	37	42
4	Фрезерная	72	82	92	102	112
5	Зубообрабатывающая	4	6	8	10	12
6	Прочая	8	12	16	20	24

Таблица 3

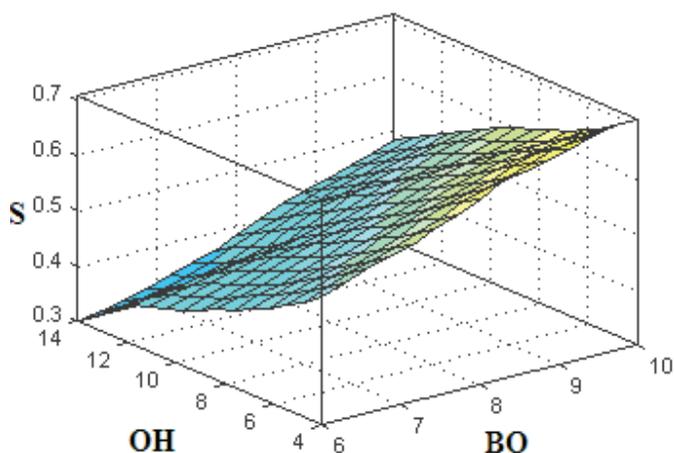
**Лингвистические переменные ОН (t) по числу доступных запасных узлов для ремонта заданного парка станков**

№ п.п.	Группа металлорежущих станков	Значения лингвистических переменных ОН (t) по числу доступных запасных узлов				
		О1	О2	О3	О4	О5
1	Токарная	170	180	190	200	210
2	Сверлильно-расточная	6	8	10	12	14
3	Шлифовальная	28	34	40	46	52
4	Фрезерная	15	20	25	30	35
5	Зубообрабатывающая	4	8	10	12	14
6	Прочая	1	2	3	4	5

Результаты применения метода нечеткой логики для зубообрабатывающей группы станков показаны на рис. 7 и 8. Например, если входные параметры  $BO = 7$  и  $OH = 10$ , то оптимальный запас на складе ремонтного производства для зубообрабатывающей группы  $S$  должен быть равен 0,445 (рис. 7). Поверхность отклика по уровню запасов в зависимости от  $OH$  и  $BO$  для заданных условий показана на (рис. 8).



**Рис. 7.** Результаты применения метода нечеткой логики в интерфейсе программы Rule Viewer для станков зубообрабатывающей группы



**Рис. 8.** Поверхность отклика по уровню запасов в зависимости от  $OH$  и  $BO$  для станков зубообрабатывающей группы

Применение нечеткой логики в управлении запасами в ремонтном производстве позволяет оптимизировать 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] *Timothy J. Ross*. Fuzzy logic with engineering applications, New Mexico, McGraw Hill. 1995, pp. 650.
- [2] *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.
- [3] *Саитгареева Р.Ш., Колесников А.А.* Применение механизмов нечеткой логики для оценки финансово-хозяйственной состоятельности предприятия // *Вестник ВЭГУ*. — 2009. — № 2. [*Saitgareyeva R.SH, Kolesnikov A.A.* Primeneniye mekhanizmov nechetkoy logiki dlya otsenki finansovo-khozyaystvennoy sostoyatel'nosti predpriyatiya // *Vestnik VEGU*. — 2009. — № 2.]
- [4] Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования. — М.: Машиностроение, 1988. [Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования. — М.: Машиностроение, 1988.]

## DEVELOPMENT OF FUZZY LOGIC FOR STOCK MANAGEMENT IN THE REPAIR OF MACHINE TOOLS

**F.A. Elerian**

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling  
Faculty of engineering  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The article describes the fundamentals of the method of fuzzy logic to control inventory in the repair of machine tools. An example of determining the optimal inventory units by fuzzy logic is introduced.

**Key words:** inventory control, machine tool, repair effect, fuzzy logic.