

Прогнозирование значений определяющих показателей при формировании технического облика особо легких высокоподвижных колесных транспортных средств

М.М. Жилейкин¹, М.Р. Калимулин², А.В. Мирошниченко³

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

² НИИ специальной техники Федерального казенного учреждения «НПО “Специальная техника и связь”» МВД РФ, Москва 111024, Россия

³ ОКБ “Техника”, Москва, Россия

Разработан метод прогнозирования перспективного изменения основных определяющих показателей во времени для особо легких высокоподвижных колесных транспортных средств (ОЛВКТС), учитывающий как объективные факторы (фактическое изменение параметра), так и субъективные (экспертная оценка). На основе анализа мнений экспертов и технических характеристик ОЛВКТС аналоговой группы методами нечеткого прогнозирования определены перспективные значения основных определяющих параметров ОЛВКТС.

E-mail: jileykin_m@mail.ru

Ключевые слова: *особо легкие высокоподвижные колесные транспортные средства, формирование технического облика, определяющие параметры, прогнозирование.*

В настоящее время во многих армиях мира появился особый класс боевых машин — особо легкие высокоподвижные колесные транспортные средства (ОЛВКТС) [1]. Такие машины способны решать широкий спектр задач общего и специального характера. Разработка подобного класса машин является насущной задачей и для российской промышленности.

При формировании технического облика любого сложного технического объекта, в том числе и колесной машины, возникает существенная проблема — неопределенность целей и неполнота информации. Причем традиционный путь учета факторов неопределенности на основе вероятностного и статистического моделирования зачастую оказывается неадекватным решаемым задачам и может привести к неверным результатам, так как функционирование сложных организационно-технических систем на практике характеризуется неопределенностью нестохастического типа вследствие следующих причин:

– неполноты или отсутствия знаний о поведении отдельных входящих в систему элементов и подсистем, а также взаимосвязей между ними;

– невозможности или ограниченной возможности экспериментального исследования процессов, не позволяющей получить доста-

точную статистическую информацию о наиболее важных характеристиках системы.

Для моделирования, проектирования и анализа таких организационно-технических систем получили распространение экспертные системы, оперирующие экспертными оценками, основанными на опыте и знаниях эксперта (или группы экспертов).

Основным математическим аппаратом формализации представления и обработки экспертных оценок и высказываний является теория нечетких множеств [2]. Применение аппарата нечеткого множества — это попытка математической формализации нечетких (экспертных) оценок в виде лингвистически поименованных функций для построения моделей обработки этих оценок как композиции указанных функций, имеющих простую лингвистическую интерпретацию. В результате появляется возможность для конечного пользователя оперировать естественными предметно-ориентированными лингвистическими терминами, представляемыми на уровне компьютерных вычислений в виде чисел. Такой подход дает приближенные, но в то же время качественные способы описания поведения сложных и плохо определенных организационно-технических систем. Теоретические же основания данного подхода вполне точны и строгие в математическом смысле и не являются сами по себе источником неопределенности. В каждом конкретном случае степень точности решения может быть согласована с требованиями задачи.

Прогнозирование значений определяющих параметров необходимо проводить на перспективу 15—20 лет, т. е. срок, который в среднем проходит от начала разработки до утилизации первых серийных образцов [3]. При этом полученные значения определяющих параметров на предыдущем этапе не являются временным рядом в классическом понимании [4]. Поэтому никакие статистические и интеллектуальные методы прогнозирования значений определяющих параметров на перспективу неприменимы. Можно, конечно, привлечь экспертов, которые могут оценить, каким должно быть значение определяющего параметра в идеальном случае, однако их мнение в определенной степени носит субъективный характер. Единственная возможность — построение прогнозов на основе баланса мнений экспертов и объективных (пусть и малочисленных) данных об изменении значения данного параметра во временной перспективе методами нечеткой логики [5].

Постановка задачи. При развертывании оценок проектных решений во времени появляется возможность сформировать нечеткий временной ряд оценок параметров, характеризующих технический уровень проектируемого изделия. По результатам анализа группы аналогов [6—10] составлена сводная таблица (табл. 1), где приведены значения определяющих параметров.

Анализ и идентификация такого нечеткого временного ряда позволяет получить интегрированную оценку динамики и качества про-

цесса проектирования в целом, а также обнаружить проблемы и спрогнозировать будущие тенденции [11].

Таблица 1

Значения определяющих параметров ОЛВКТС

| Определяющий параметр | Модель ОЛВКТС | | |
|---|-----------------|------------|------|
| | “Сейкер” | “Эль-Махо” | МЛНМ |
| Страна-производитель | Велико-британия | ЮАР | США |
| Год начала выпуска | 1990 | 1994 | 2004 |
| Удельная мощность, кВт/т | 31,12 | 40 | 44 |
| Максимальная скорость, км/ч | 130 | 135 | 135 |
| Удельная грузоподъемность | 0,31 | 0,47 | 0,49 |
| Запас хода, км | 960 | 1300 | 500 |
| Дорожный просвет, м | 0,38 | 0,25 | 0,38 |
| Максимальный угол преодолеваемого подъема, град | 25 | — | 35 |
| Максимальный угол поперечной устойчивости, град | 20 | — | 40 |

Постановка задачи прогноза развития процессов заключается в следующем. Дана последовательность нечетких значений одной переменной, полученная в результате наблюдения в заданном интервале времени. Требуется идентифицировать тип изменения этой переменной T_r в следующем интервале времени. Тип изменения переменной T_r может быть задан в нечетких терминах, используемых в задаче интерпретации, например: “Рост”, “Падение”, “Стабилизация” и др. Эта задача включает предварительное решение задачи построения модели рассматриваемого нечеткого временного ряда.

Методика прогнозирования перспективного изменения основных показателей во времени методом анализа нечетких тенденций. Предварительный анализ тенденций развития ОЛВКТС проводится группой экспертов на основе знаний технических характеристик аналогов. Задача экспертов — оценить, насколько быстро растет тот или иной определяющий параметр в зависимости от года разработки изделия-аналога, и насколько, по мнению экспертов, достигнутый уровень близок к идеальному.

Для прогнозирования значения определяющего параметра методами нечеткой логики введем две входные лингвистические переменные: X_1 “тенденция роста параметра” и X_2 “степень близости достигнутого уровня к идеальному значению”, а также одну выходную переменную Y “прогноз роста”.

Значение входной переменной X_1 характеризует темп роста данного определяющего параметра за рассматриваемый период времени. Значение входной переменной X_2 — это мнение авторитетного экс-

перта относительно того, каким должно быть значение данного параметра в идеальном случае. Таким образом, данная методика позволяет построить прогноз изменения значения параметра, учитывая как объективные факторы (фактическое изменение параметра), так и субъективные (экспертная оценка).

В нечеткой логике значения любой величины представляются не числами, а словами естественного языка и называются термами. Термы для лингвистических переменных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Термы для лингвистических переменных

| Лингвистическая переменная | Термы |
|--|--|
| X_1 “тенденция роста параметра” | Низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий |
| X_2 “степень близости достигнутого уровня к идеальному значению” | Далек от идеала, приближается к идеалу, почти идеал |
| Y “прогноз роста” | Низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий |

Для завершения процедуры фазсификации построим функцию принадлежности для каждой лингвистической переменной на основе экспертной информации. Сформулируем задачу построения функций принадлежности.

Пусть даны два множества: множество термов $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ и универсальное множество $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$. Нечеткое множество \tilde{l}_j , которым описывается лингвистический терм $l_j, j = 1, 2, \dots, m$, на универсальном множестве U представляется в виде

$$\tilde{l}_j = \left(\frac{\mu_j(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_j(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_j(u_n)}{u_n} \right).$$

Необходимо определить степени принадлежности элементов множества U к элементам из множества L , т. е. найти функции $\mu_j(u_i)$ для всех $j = 1, 2, \dots, m$ и $i = 1, 2, \dots, n$.

Используем метод построения функций принадлежности, основанный на статистической обработке мнений группы экспертов [2]. Каждый эксперт заполняет опросный лист, в котором указывает свое мнение о наличии у элементов $u_i, i = 1, 2, \dots, n$, свойств нечеткого множества $\tilde{l}_j, j = 1, 2, \dots, m$.

Введем следующие обозначения: K — число экспертов; $b_{j,i}^k$ — мнение k -го эксперта о наличии у элемента u_i свойств нечеткого множества $\tilde{l}_j, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, K$. Будем счи-

тать, что экспертные оценки бинарные, т. е. $b_{j,i}^k \in \{0,1\}$, где 1 (0) указывает на наличие (отсутствие) у элемента u_i свойств нечеткого множества \tilde{l}_j . По результатам опроса экспертов функции принадлежности нечеткому множеству \tilde{l}_j , $j = 1, 2, \dots, m$, рассчитывают следующим образом:

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{j,i}^k, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Обработка данных экспертного опроса проводится на основе статистических методов с целью определения достоверности и согласованности их оценок. Если в результате проведения такого анализа будет установлено, что мнения экспертов имеют слишком большой разброс, необходимо провести коррекцию их позиции и повторить опрос. Методика обработки мнения экспертов приведена в работе [3].

Построим функцию принадлежности для входной лингвистической переменной X_1 “тенденция роста параметра”, которая характеризуется термами “низкий”, “ниже среднего”, “средний”, “выше среднего”, “высокий”. Результаты опроса пяти экспертов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты опроса для входной лингвистической переменной X_1 “тенденция роста параметра”

| Термы | Рост параметра, % | | | | | | | |
|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| | От 0 до 10 | Св. 10 до 20 | Св. 20 до 30 | Св. 30 до 40 | Св. 40 до 50 | Св. 50 до 60 | Св. 60 до 70 | Св. 70 |
| <i>Эксперт 1</i> | | | | | | | | |
| Низкий | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ниже среднего | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Средний | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Выше среднего | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Высокий | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Эксперт 2</i> | | | | | | | | |
| Низкий | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ниже среднего | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Средний | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Выше среднего | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Высокий | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

| Термы | Рост параметра, % | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| | От 0 до 10 | Св. 10 до 20 | Св. 20 до 30 | Св. 30 до 40 | Св. 40 до 50 | Св. 50 до 60 | Св. 60 до 70 | Св. 70 |
| | <i>Эксперт 3</i> | | | | | | | |
| Низкий | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ниже среднего | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Средний | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Выше среднего | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Высокий | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | <i>Эксперт 4</i> | | | | | | | |
| Низкий | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ниже среднего | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Средний | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Выше среднего | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Высокий | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | <i>Эксперт 5</i> | | | | | | | |
| Низкий | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ниже среднего | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Средний | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Выше среднего | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Высокий | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Результаты обработки экспертных мнений представлены в табл. 4, а графики функций принадлежности — на рис. 1.

Функцию принадлежности для входной лингвистической переменной X_2 “степень близости достигнутого уровня к идеальному значению”, которая характеризуется терминами “далек от идеала”, “приближается к идеалу”, “почти идеал”, вычисляют аналогично (табл. 5). Результаты обработки экспертных мнений представлены в табл. 6, а графики функций принадлежности — на рис. 2.

Значения функции принадлежности для входной лингвистической переменной X_1 “тенденция роста параметра”

| Термы | Рост параметра, % | | | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| | От 0 до 10 | Св. 10 до 20 | Св. 20 до 30 | Св. 30 до 40 | Св. 40 до 50 | Св. 50 до 60 | Св. 60 до 70 | Св. 70 |
| Низкий | 5/1 | 4/0,8 | 1/0,2 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Ниже среднего | 0/0 | 4/0,8 | 5/1 | 5/1 | 2/0,4 | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Средний | 0/0 | 0/0 | 2/0,4 | 5/1 | 2/0,4 | 2/0,4 | 0/0 | 0/0 |
| Выше среднего | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 1/0,2 | 5/1 | 5/1 | 5/1 | 0/0 |
| Высокий | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 3/0,6 | 3/0,6 | 3/0,6 | 5/1 |

Примечание. В числителе — число голосов, отданных экспертами за принадлежность нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества, в знаменателе — функции принадлежности, рассчитанные по формуле (1).

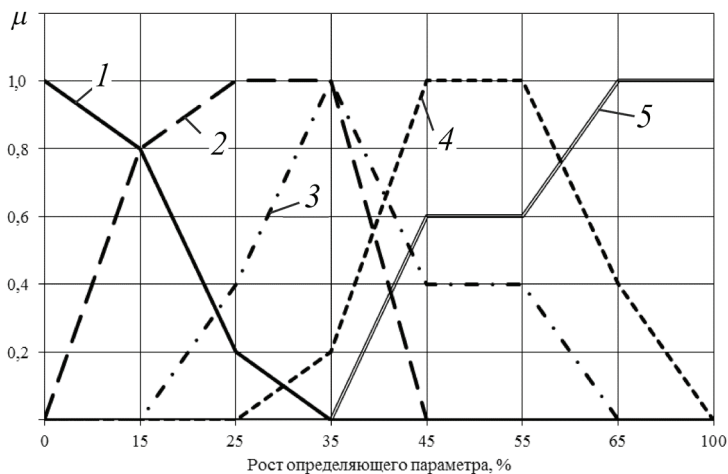


Рис. 1. Функции принадлежности входной переменной X_1 “тенденция роста параметра” для термов “низкий” (1), “ниже среднего” (2), “средний” (3), “выше среднего” (4) и “высокий” (5)

Функция принадлежности для выходной лингвистической переменной Y “прогноз роста”, которая характеризуется термами “низкий”, “ниже среднего”, “средний”, “выше среднего”, “высокий”, определялась так же, как и функция принадлежности для входной переменной X_1 “тенденция роста параметра” (см. рис. 1).

**Результаты опроса для входной лингвистической переменной
X₂ “степень близости достигнутого уровня к идеальному значению”**

| Термы | Степень приближения к идеальному значению, % | | | | |
|-----------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | От 0 до 20 | Св. 20 до 40 | Св. 40 до 60 | Св. 60 до 80 | Св. 80 до 100 |
| | <i>Эксперт 1</i> | | | | |
| Далек от идеала | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Приближается к идеалу | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Почти идеал | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | <i>Эксперт 2</i> | | | | |
| Далек от идеала | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Приближается к идеалу | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Почти идеал | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | <i>Эксперт 3</i> | | | | |
| Далек от идеала | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Приближается к идеалу | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Почти идеал | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | <i>Эксперт 4</i> | | | | |
| Далек от идеала | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Приближается к идеалу | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Почти идеал | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | <i>Эксперт 5</i> | | | | |
| Далек от идеала | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Приближается к идеалу | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Почти идеал | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Таблица 6

**Значения функции принадлежности для входной лингвистической
переменной X₂ “степень близости достигнутого уровня
к идеальному значению”**

| Термы | Степень приближения к идеальному значению, % | | | | |
|-----------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | От 0 до 20 | Св. 20 до 40 | Св. 40 до 60 | Св. 60 до 80 | Св. 80 до 100 |
| Далек от идеала | 5/1 | 4/0,8 | 1/0,2 | 0/0 | 0/0 |
| Приближается к идеалу | 0/0 | 2/0,4 | 5/1 | 5/1 | 1/0,2 |
| Почти идеал | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 4/0,8 | 5/1 |

Примечание. В числителе — число голосов, отданных экспертами за принадлежность нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества, в знаменателе — степени принадлежности, рассчитанные по формуле (1).

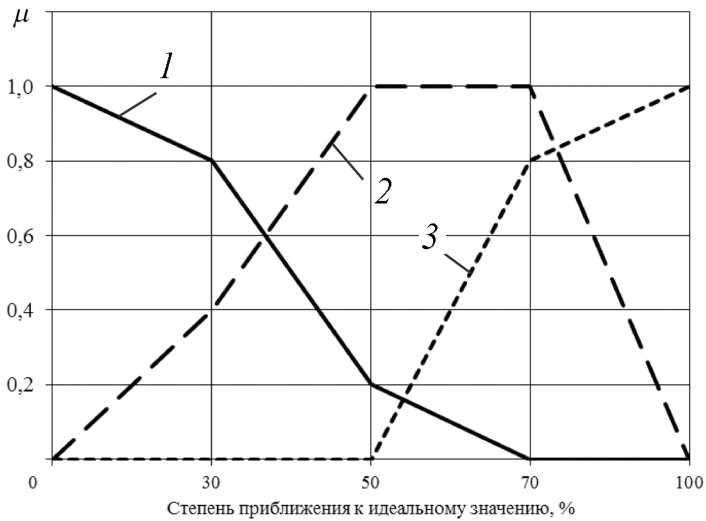


Рис. 2. Функции принадлежности входной переменной X_2 “степень близости достигнутого уровня к идеальному значению” для термов “далек от идеала” (1), “приближается к идеалу” (2) и “почти идеал” (3)

Следующий этап прогнозирования — разработка нечетких правил. Большинство нечетких систем используют продукционные правила, связывающие лингвистические переменные [12]. Совокупность таких правил описывает стратегию принятия решения, применяемую в данной задаче.

Типичное продукционное правило состоит из антецедента (часть ЕСЛИ...) и консеквента (часть ТО...). Антецедент может содержать более одной посылки. В этом случае они объединяются посредством логических связок И или ИЛИ. Будем использовать при построении правил только связку И.

Процесс вычисления нечеткого правила называется нечетким логическим выводом и подразделяется на два этапа: обобщение и заключение. Будем использовать алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани [5]. Пример нечеткого правила выглядит следующим образом:

ЕСЛИ “тенденция роста параметра” = “средний” И “степень близости параметра к идеалу” = “далек от идеала”, ТО “прогноз роста параметра” = “средний”.

Полный набор нечетких правил приведен в табл. 7.

В результате логического вывода по j -му правилу получаем нечеткое значение выходной переменной Y_j :

$$\mu_j(Y) = \min[\mu_j(X_1), \mu_j(X_2)], \quad (2)$$

где $\mu_j(X_1), \mu_j(X_2)$ — значение функций принадлежности по j -му правилу для входных переменных X_1 и X_2 соответственно.

Такая операция взятия минимума называется импликацией [5]. Например, если для переменной “тенденция роста параметра” $\mu_j(X_1) = 0,9$, а для переменной “степень близости параметра к идеалу” $\mu_j(X_2) = 0,8$, то $\mu_j(Y) = \min[0,9; 0,8]$.

Таблица 7

Набор нечетких правил для прогнозирования значения выходной лингвистической переменной параметра Y “прогноз роста”

| Термы для переменной X_1 | Термы для переменной X_2 | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|
| | Далек от идеала | Приближается к идеалу | Почти идеал |
| Низкий | Низкий | Низкий | Низкий |
| Ниже среднего | Ниже среднего | Низкий | Низкий |
| Средний | Средний | Ниже среднего | Низкий |
| Выше среднего | Выше среднего | Средний | Низкий |
| Высокий | Высокий | Средний | Низкий |

Операция импликации означает «срезание» функции принадлежности $\mu_j(Y)$. Смысл этой операции пояснен на рис. 3, а (результат операции — фигура, выделенная заливкой).

Если множество термов L является размытым, то результатом нечеткого логического вывода может быть несколько термов $\mu_j(Y)$ выходной переменной. В этом случае наряду с операцией импликации для каждого значения $\mu_j(Y)$ необходимо провести операцию агрегирования (объединения) нечеткого множества $\mu(Y) = [\mu_1(Y), \mu_2(Y), \dots, \mu_n(Y)]$, которая обычно реализуется операцией взятия максимума [5]. Иллюстрацией этой операции для трех нечетких множеств служит рис. 3, б (результат операции — фигура, выделенная заливкой).

На последнем этапе необходимо осуществить переход от нечетких значений выходной величины Y значения прогноза определяющего параметра к четкому числовому значению. Эта операция называется дефазификацией (устранением нечеткости). Наиболее часто применяется дефазификация по методу центра тяжести [5]. При этом четкое значение определяется как проекция центра тяжести фигуры, ограниченной функциями принадлежности выходной переменной с допустимыми значениями, по формуле

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)}. \quad (3)$$

Иллюстрацией этого правила служит рис. 4.

Рассмотренный метод нечеткого моделирования может быть отнесен к числу полуавтоматических процедур, поскольку большинство выполняемых шагов, включая построение универсума на основании множества исходных данных задачи, могут быть эффективно воплощены в программной форме. Однако участие аналитиков (экспертов) при формировании соответствующих нечетких множеств играет также огромную роль.

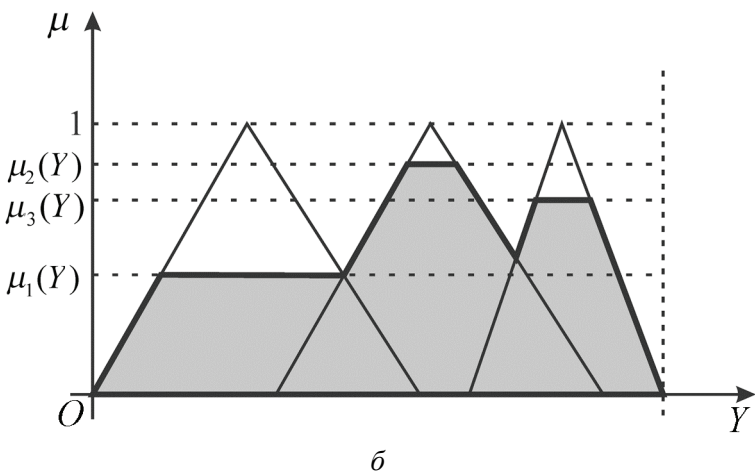
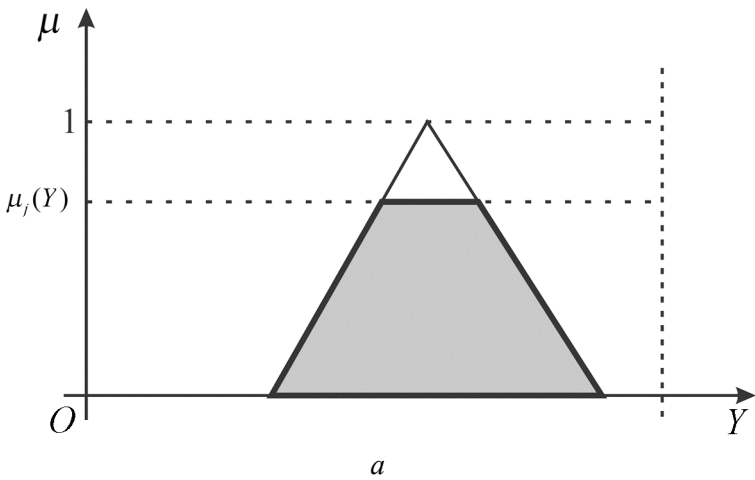


Рис. 3. Операции импликации (а) и агрегирования (б) в нечетком выводе Мамдани

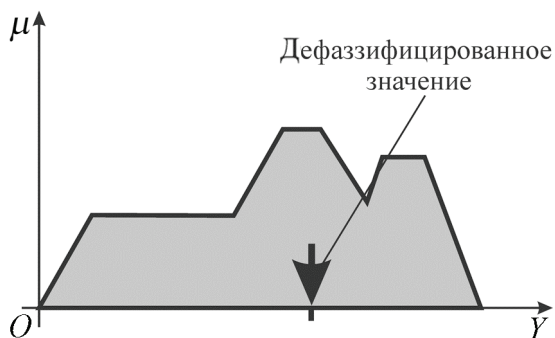


Рис. 4. Нахождение дефаззифицированного выходного значения

Процедура фаззификации. Для составления прогноза значений определяющих параметров проанализируем, насколько выросли их значения за рассматриваемый период (по данным табл. 1), а также получим мнение эксперта о перспективах роста значений этих же параметров. Результаты такого анализа и опроса эксперта приведены в табл. 8.

Перейдем к процедуре фаззификации. Проанализируем значения входных лингвистических переменных X_1 “тенденции роста параметра” и X_2 “степень близости к идеалу” (табл. 9) на основании данных табл. 8 и значений функций принадлежности (см. рис. 1 и 2).

Прогнозирование значений определяющих параметров ОЛВКТС. На основе разработанных нечетких правил для прогнозирования значения определяющего параметра (см. табл. 7), используя операции импликации и агрегирования, определим значение выходной лингвистической переменной Y “прогноз роста” для всех определяющих параметров.

Таблица 8

Рост значений определяющих параметров по данным анализа тенденций их изменения и по прогнозам экспертов, %

| Определяющие параметры | Анализ | Прогноз |
|---|--------|---------|
| Удельная мощность | 41 | 40 |
| Максимальная скорость | 10 | 55 |
| Удельная грузоподъемность | 52 | 50 |
| Запас хода | 260 | 10 |
| Дорожный просвет | 52 | 10 |
| Максимальный угол преодолеваемого подъема | 40 | 0—5 |
| Максимальный угол поперечной устойчивости | 100 | 0—5 |

**Термы и значения функции принадлежности
для входных лингвистических переменных**

| Определяющий параметр | Переменная | |
|---|---|--|
| | X_1 “тенденции роста параметра” | X_2 “степень близости к идеалу” |
| Удельная мощность | Низкий ($\mu = 0,85$) Ниже среднего ($\mu = 0,65$) | Приближается к идеалу ($\mu = 0,3$) Почти идеал ($\mu = 0,92$) |
| Максимальная скорость | Низкий ($\mu = 0,94$) Ниже среднего ($\mu = 0,08$) | Приближается к идеалу ($\mu = 0,2$) Почти идеал ($\mu = 0,96$) |
| Удельная грузоподъемность | Средний ($\mu = 0,4$) Выше среднего ($\mu = 1,0$) Высокий ($\mu = 0,6$) | Далек от идеала ($\mu = 0,2$) Приближается к идеалу ($\mu = 1,0$) |
| Запас хода | Высокий ($\mu = 1,0$) | Почти идеал ($\mu = 1,0$) |
| Дорожный просвет | Средний ($\mu = 0,4$) Выше среднего ($\mu = 1,0$) Высокий ($\mu = 0,6$) | Приближается к идеалу ($\mu = 0,2$) Почти идеал ($\mu = 0,9$) |
| Максимальный угол преодолеваемого подъема | Значение параметра близко к предельному | |
| Максимальный угол наклона | То же | |

Ниже приведены продукционные правила для различных определяющих параметров:

для параметра “удельная мощность”:

ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,1$)” ТО Y = “ниже среднего ($\mu = 0,1$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,45$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,5$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,45$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “средний ($\mu = 0,7$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,1$)” ТО Y = “средний ($\mu = 0,1$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “средний ($\mu = 0,7$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “ниже среднего ($\mu = 0,7$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “средний ($\mu = 0,7$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,5$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,5$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “выше среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,1$)” ТО Y = “выше среднего ($\mu = 0,1$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “выше среднего ($\mu = 0,45$)” И

X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “средний ($\mu = 0,45$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “выше среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,5$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,45$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 0,3$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,1$)” ТО Y = “высокий ($\mu = 0,1$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 0,3$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “средний ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 0,3$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,5$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,3$)” → Y = “низкий ($\mu = 0,5$)” ИЛИ “ниже среднего ($\mu = 0,7$)” ИЛИ “средний ($\mu = 0,45$)” ИЛИ “выше среднего ($\mu = 0,1$)” ИЛИ “высокий ($\mu = 0,1$)”;

для параметра “максимальная скорость”:

ЕСЛИ X_1 = “низкий ($\mu = 0,86$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,3$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “низкий ($\mu = 0,86$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 0,1$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,1$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “низкий ($\mu = 0,86$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,86$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,52$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,3$)” ТО Y = “ниже среднего ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,52$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 0,1$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,1$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,52$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,52$)” → Y = “низкий ($\mu = 0,86$)” ИЛИ “ниже среднего ($\mu = 0,3$)” ИЛИ “средний ($\mu = 0,0$)” ИЛИ “выше среднего ($\mu = 0,0$)” ИЛИ “высокий ($\mu = 0,0$)”;

для параметра “удельная грузоподъемность”:

ЕСЛИ X_1 = “средний ($\mu = 0,4$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,2$)” ТО Y = “средний ($\mu = 0,2$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “средний ($\mu = 0,4$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “ниже среднего ($\mu = 0,4$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “выше среднего ($\mu = 1,0$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,2$)” ТО Y = “выше среднего ($\mu = 0,2$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “выше среднего ($\mu = 1,0$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “средний ($\mu = 1,0$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 0,6$)” И X_2 = “далек от идеала ($\mu = 0,2$)” ТО Y = “высокий ($\mu = 0,2$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 0,6$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 1,0$)” ТО Y = “средний ($\mu = 0,6$)” → Y = “низкий ($\mu = 0,0$)” ИЛИ “ниже среднего ($\mu = 0,4$)” ИЛИ “средний ($\mu = 1,0$)” ИЛИ “выше среднего ($\mu = 0,2$)” ИЛИ “высокий ($\mu = 0,2$)”;

для параметра “запас хода”:

ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 1,0$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 0,3$)” ТО Y = “средний ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “высокий ($\mu = 1,0$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,9$)” → Y = “низкий ($\mu = 0,9$)” ИЛИ “ниже среднего ($\mu = 0,0$)” ИЛИ “средний ($\mu = 0,3$)” ИЛИ “выше среднего ($\mu = 0,0$)” ИЛИ “высокий ($\mu = 0,0$)”;

для параметра “дорожный просвет”:

ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “приближается к идеалу ($\mu = 0,3$)” ТО Y = “низкий ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ X_1 = “ниже среднего ($\mu = 0,45$)” И X_2 = “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО Y = “низкий

($\mu = 0,45$)” ИЛИ ЕСЛИ $X_1 =$ “средний ($\mu = 0,7$)” И $X_2 =$ “приближается к идеалу ($\mu = 0,3$)” ТО $Y =$ “ниже среднего ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ $X_1 =$ “средний ($\mu = 0,7$)” И $X_2 =$ “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО $Y =$ “низкий ($\mu = 0,7$)” ИЛИ ЕСЛИ $X_1 =$ “выше среднего ($\mu = 0,45$)” И $X_2 =$ “приближается к идеалу ($\mu = 0,3$)” ТО $Y =$ “средний ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ $X_1 =$ “выше среднего ($\mu = 0,45$)” И $X_2 =$ “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО $Y =$ “низкий ($\mu = 0,45$)” ИЛИ ЕСЛИ $X_1 =$ “высокий ($\mu = 0,3$)” И $X_2 =$ “приближается к идеалу ($\mu = 0,3$)” ТО $Y =$ “средний ($\mu = 0,3$)” ИЛИ ЕСЛИ $X_1 =$ “высокий ($\mu = 0,3$)” И $X_2 =$ “почти идеал ($\mu = 0,9$)” ТО $Y =$ “низкий ($\mu = 0,3$)” $\rightarrow Y =$ “низкий ($\mu = 0,5$)” ИЛИ “ниже среднего ($\mu = 0,7$)” ИЛИ “средний ($\mu = 0,45$)” ИЛИ “выше среднего ($\mu = 0,1$)” ИЛИ “высокий ($\mu = 0,1$)” $\rightarrow Y =$ “низкий ($\mu = 0,7$)” ИЛИ “ниже среднего ($\mu = 0,3$)” ИЛИ “средний ($\mu = 0,3$)” ИЛИ “выше среднего ($\mu = 0,0$)” ИЛИ “высокий ($\mu = 0,0$)”.

Прогноз темпов роста для этих определяющих параметров будет следующий:

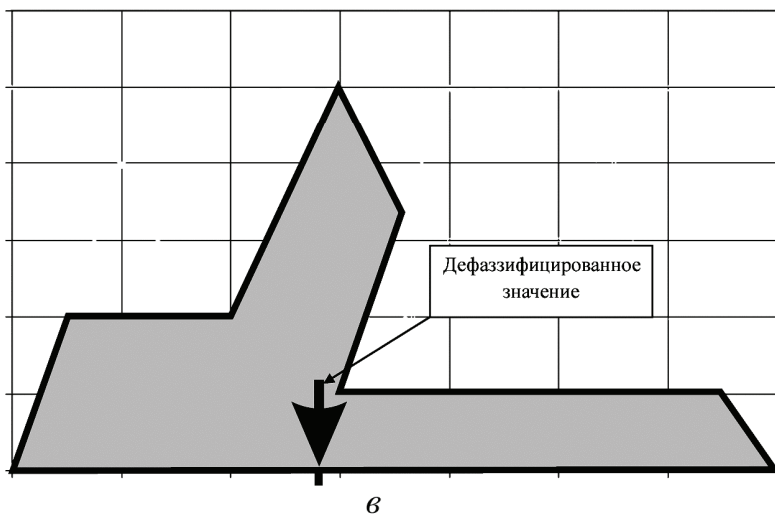
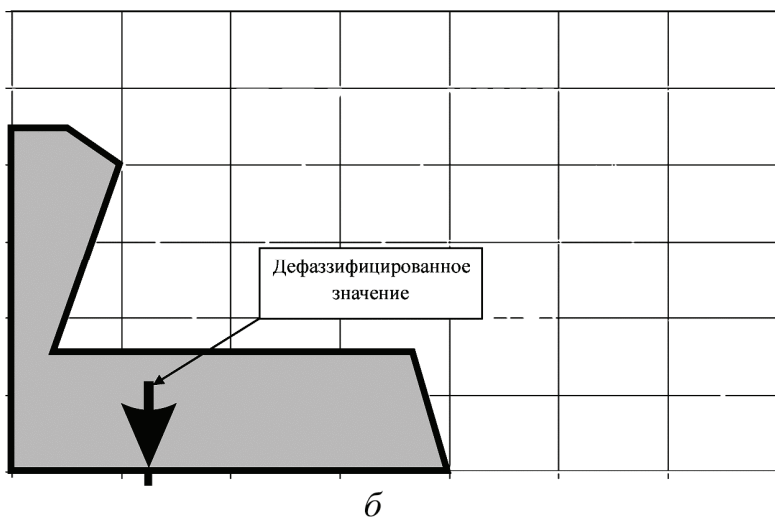
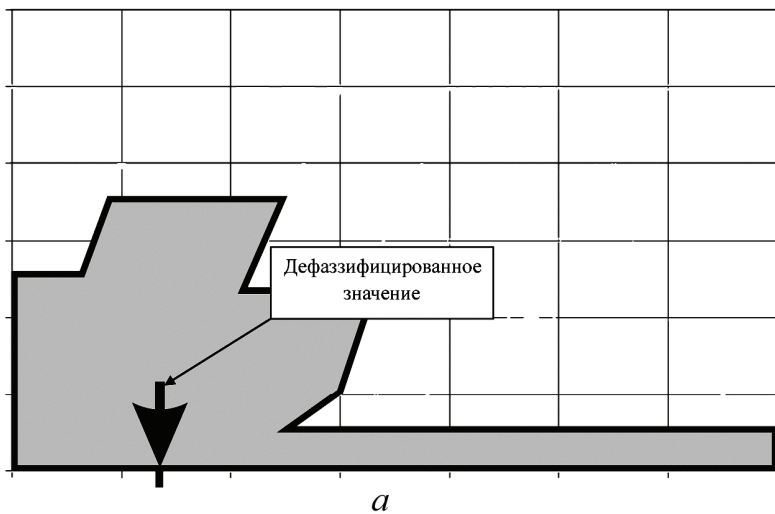
| | |
|-----------------------------------|------|
| Удельная мощность, кВт/т | 50 |
| Максимальная скорость, км/ч | 150 |
| Удельная грузоподъемность | 0,7 |
| Запас хода, км | 1500 |
| Дорожный просвет, м..... | 0,42 |

Значения двух оставшихся определяющих параметров “максимальный угол преодолеваемого подъема” и “максимальный угол поперечной устойчивости”, по мнению экспертов, близки к своим предельным значениям и повышаться не будут. В связи с этим можно принять следующие перспективные значения: максимальный угол преодолеваемого подъема 35° , максимальный угол поперечной устойчивости 40° .

Вид функций принадлежности для выходных переменных показан на рис. 5.

Таким образом, разработан метод прогнозирования перспективного изменения основных определяющих показателей во времени, позволяющий прогнозировать изменение значения параметра, учитывая как объективные факторы (фактическое его изменение), так и субъективные (экспертная оценка), с использованием методов нечеткой логики.

На основе анализа мнений экспертов и технических характеристик ОЛВКТС аналоговой группы методами нечеткого прогнозирования установлено, что перспективные значения основных определяющих параметров ОЛВКТС следующие: удельная мощность 50 кВт/т, максимальная скорость 150 км/ч, удельная грузоподъемность 0,7, запас хода 1500 км, дорожный просвет 0,42 м, максимальный угол преодолеваемого подъема 35° , максимальный угол поперечной устойчивости 40° .



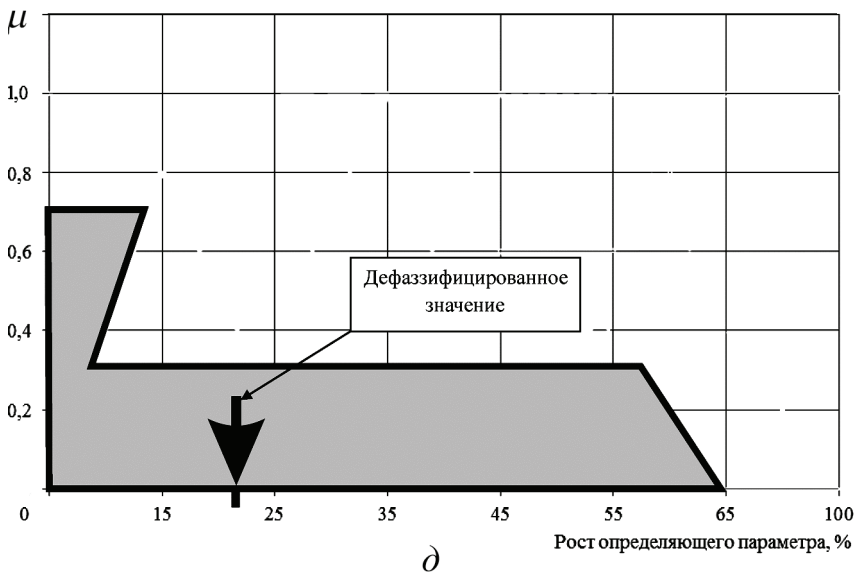
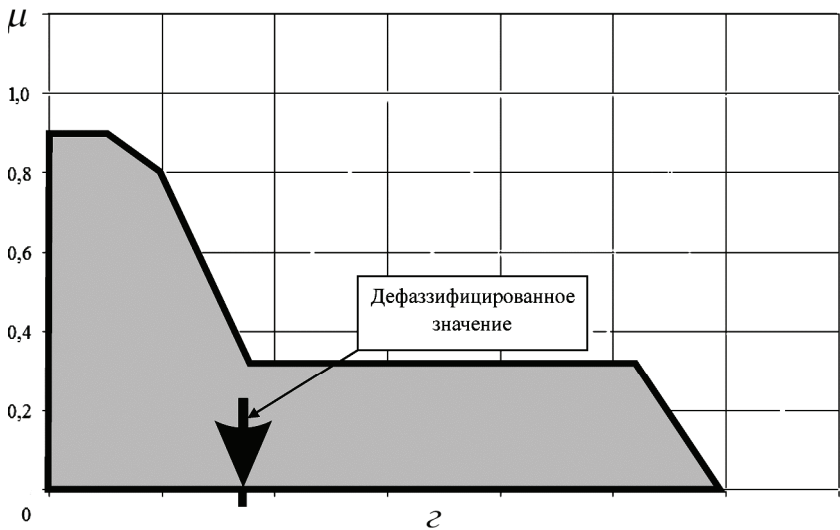


Рис. 5. Вид функции принадлежности выходной переменной Y для параметров “удельная мощность” (a), “максимальная скорость” (b), “удельная грузоподъемность” (c), “запас хода” (z) и “дорожный просвет” (d)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мосалев В.Н. Легкие боевые машины сухопутных войск иностранных государств // Зарубежное военное обозрение. — 2000. — № 6. — С. 20—24.
2. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-Making in Fuzzy Environment // Management Science. 1970. — V. 17, No 4. — P. 141—160.

3. Плиев И.А. Автомобили многоцелевого назначения. Формирование технического облика АМН в составе семейств. — М.: МГИУ, 2011. — 262 с.
4. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 228 с.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с.
6. Крамник И. На смену “Хаммеру” и УАЗу [Электронный ресурс] // Военно-промышленный курьер. — 2011. — № 20 (386). — <http://vpk-news.ru/articles/7688>.
7. Chenoweth Advanced Light Strike Vehicle [Электронный ресурс]. http://en.wikipedia.org/wiki/Chenoweth_Advanced_Light_Strike_Vehicle.
8. Spider Light Strike Vehicle, Singapore [Электронный ресурс]. http://www.army-technology.com/projects/spider_light_strike.
9. Tactical Autonomous Combat-Chassis (TAC-C) [Электронный ресурс]. <http://www.gdrs.com/about/profile/>.
10. Сергеев П.С. Легче не бывает. Боевые багги идут на смену броневикам в зонах конфликтов [Электронный ресурс]. <http://lenta.ru/articles/2008/05/20/baggy/>.
11. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева И.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие. — Ульяновск: УлГТУ, 2010. — 320 с.
12. Гриняев С.В. Нечеткая логика в системах управления. / Компьютерра: {Электронный ресурс}. <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/13052/>.

Статья поступила в редакцию 05.10.2012