

**А. К. ЧЕРНЫХ**, д-р техн. наук, профессор кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: nataliachernykh@mail.ru)

**В. Б. ВИЛКОВ**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общенаучных и общетехнических дисциплин, Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева (Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, 8)

УДК 519.8

## УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ МЧС РОССИИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Рассматриваются подходы в части многокритериальной оптимизации применительно к материальному обеспечению сил и средств МЧС России в условиях ликвидации последствий крупной чрезвычайной ситуации. В рамках материального обеспечения сил и средств МЧС России рассматривается план подвоза материальных средств, формализуемый в виде множества пар склад — потребитель, и маршруты для перевозки запланированных материальных средств. Предполагается, что показатель надежности плана подвоза материальных средств является величиной, заданной нечетко. Предлагаются подходы к решению указанной задачи, использующие теорию нечетких множеств, нечеткую логику и алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Показано, что новизна этих подходов определяется возможностью использования при планировании подвоза материальных средств двух и более критериев в отличие от математических моделей, базирующихся на применении для этих целей лишь одного критерия. Установлено, что использование нечеткого логического вывода при разработке моделей систем в отличие от традиционного математического аппарата обеспечивает требуемый уровень устойчивости к неточностям моделей и их транспарентность. Предложенные теоретические положения иллюстрируются содержательным примером.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация; план подвоза; материальные средства; критерии эффективности; оптимальный план; нечеткое множество; нечеткая логика; лингвистическая переменная.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59

**В** процессе принятия решения о применении сил и средств МЧС России приходится решать и вопросы их материального обеспечения [1]. В рамках настоящей статьи рассмотрим решение задачи по материальному обеспечению сил и средств МЧС России в условиях ликвидации последствий крупной чрезвычайной ситуации (ЧС). Понятно, что в этих условиях в силу возможных действий криминального характера против транспортных средств, а также пожарной обстановки в лесных массивах [2], через которые проходят маршруты подвоза материальных средств (МС), по некоторым из них доставка материальных средств для сил и средств МЧС России нецелесообразна, а зачастую и маловероятна. В связи с этим вербальная постановка указанной задачи имеет следующий вид: определить план подвоза МС со складов для сил и средств МЧС России (далее — план подвоза МС), максимизируя надежность их до-

ставки и одновременно минимизируя транспортные расходы.

Таким образом, в задаче рассматриваются два критерия: первый — надежность плана подвоза МС, который по смыслу играет роль оперативного критерия; второй (экономический) — транспортные расходы по доставке МС, причем первый критерий является приоритетным.

Основное содержание работы связано с использованием для решения сформулированной выше задачи теории нечетких множеств и нечеткой логики, основоположником которой является Л. Заде [3, 4], а основные положения изложены, например, в работах [5, 6]. Заметим, что на основе методов теории нечетких множеств авторами предложены подходы к решению ряда актуальных задач, решаемых должностными лицами Министерства обороны, МВД и МЧС России [7–9].

Пусть имеется некоторое множество  $X$ , которое будем называть универсальным. Нечетким множеством  $\hat{A}$  (далее — нечеткое множество) на универсальном множестве  $X$  называется пара  $(A, \mu_{\hat{A}}(x))$ , где  $A \subseteq X$ ;  $\mu_{\hat{A}}(x)$  — некоторая функция, заданная на универсальном множестве  $X$  и принимающая значения от 0 до 1 (доли ед.). Эта функция называется функцией принадлежности нечеткого множества  $\hat{A}$ . Ее значение при заданном  $x$  характеризует степень уверенности в том, что  $x$  является элементом нечеткого множества  $\hat{A}$ . В дальнейшем значения функции принадлежности часто будем называть степенью уверенности, или надежностью.

Нечеткое множество, являющееся пересечением нечетких множеств  $\hat{A}$  и  $\hat{B}$ , обозначается  $\hat{A} \cap \hat{B}$ . Его функция принадлежности  $\mu_{\hat{A} \cap \hat{B}}(x)$  (доли ед.) вычисляется по правилу [9]:

$$\mu_{\hat{A} \cap \hat{B}}(x) = \min\{\mu_{\hat{A}}(x), \mu_{\hat{B}}(x)\}.$$

Степень истинности нечеткого высказывания принимает значения из замкнутого промежутка  $[0; 1]$ , при этом 0 совпадает со значением “ложь”, 1 — со значением “истина”.

Приведем логические операции, необходимые для дальнейших рассуждений. Обозначим нечеткие переменные высказывания, зависящие от некоторой переменной  $u$ , через  $\tilde{A}(u)$  и  $\tilde{B}(u)$ , а функции принадлежности, задающие степени истинности переменных этих переменных высказываний, — через  $\mu_{\tilde{A}}(u)$  и  $\mu_{\tilde{B}}(u)$  (доли ед.).

Нечеткие логические операции *конъюнкция*  $\mu_{\tilde{A} \wedge \tilde{B}}(u)$  (доли ед.) и *дизъюнкция*  $\mu_{\tilde{A} \vee \tilde{B}}(u)$  (доли ед.) по аналогии с теоретико-множественными операциями нечеткого пересечения и нечеткого объединения выполняются по правилам:

$$\mu_{\tilde{A} \wedge \tilde{B}}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}; \quad (1)$$

$$\mu_{\tilde{A} \vee \tilde{B}}(u) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}. \quad (2)$$

В условиях ликвидации последствий ЧС необходимо выработать и принять решение по материальному обеспечению сил и средств МЧС России в районе ЧС на основе реализации транспортной задачи линейного программирования. При этом предполагается, что исходные данные для принятия указанного решения получены не в полном объеме, поэтому при выработке решения возникает необходимость использовать нечеткие множества, нечеткую логику и алгоритм нечеткого вывода Мамдани [5–9]. Это может быть вызвано, например, тем обстоятельством, что в силу каких-либо причин не в полной мере известна обеспеченность сил и средств МЧС России материальными средствами, а также оперативная обстановка на автомобильных дорогах в районе ЧС.

Оптимальность маршрутов, по которым осуществляется доставка МС, определяется на основе двух частных критериев — защищенности и дальности обзора с сохранением ограничений на транспортные расходы, что в отличие от распространенной при решении подобных задач оптимизации по одному критерию позволяет говорить об актуальности предлагаемого в настоящей статье подхода в рамках проблемы комплексной безопасности на транспорте.

Маршруты состоят из автомобильных дорог (далее — дороги), каждая из которых соединяет два пункта, причем исключение любого из них приводит к удалению этой дороги из рассмотрения в рамках предложенного подхода. Пункты являются элементами сети дорог. Среди них имеются как транспортные объекты (автодорожные узлы, мосты, тоннели, дефиле и т. д.), от состояния которых зависит возможность движения по составляющим маршрут дорогам, так и пункты, в одних из которых дислоцируются силы и средства МЧС России, а в других расположены склады с запасами МС. Известна стоимость (транспортные затраты) перевозки единицы груза по каждой дороге и показатель ее надежности. Нужно выбрать наиболее надежный вариант доставки МС, требующий минимальных по сравнению с другими вариантами такой же надежности затрат.

Концепция решения задачи состоит в следующем. Все маршруты упорядочиваются по надежности. Из их числа выбираются самые надежные, но при условии, что их использование позволит осуществить перевозки МС в необходимых объемах. Из числа выбранных маршрутов определяются маршруты, использование которых обеспечит минимальные суммарные расходы по доставке необходимых объемов МС.

В ходе решения задачи необходимо определить показатели надежности для маршрутов и для всего плана подвоза МС, а также порядок нахождения оптимального плана.

Под надежностью дороги естественно понимать степень уверенности в безопасности ее использования в ходе осуществления материального обеспечения сил и средств МЧС России. В качестве показателя надежности дороги можно использовать вероятность того, что план подвоза МС в ходе ликвидации последствий ЧС в случае совершения на ней действий криминального характера против транспортных средств не претерпит серьезных изменений. Однако порядок определения этой вероятности в силу уникальности условий проведения мероприятий по ликвидации последствий ЧС является серьезной задачей. К тому же, даже если эта вероятность известна, задача по определению оптимального варианта использования сети автомобильных дорог, состояние которых в районе ликвидации послед-

ствий ЧС может быть известно не в полной мере, для осуществления материального обеспечения сил и средств МЧС России технически достаточно сложна.

В настоящей статье для определения надежности дорог, маршрутов и всего плана подвоза МС в ходе ликвидации последствий ЧС будем использовать теорию нечетких множеств. Надежность дороги будем характеризовать степенью истинности высказывания “дорога надежна”, понимая под этим, что преступные группировки не способны скольконибудь заметно повлиять на перевозки по ней. Под надежностью указанного плана будем понимать минимальную из надежностей маршрутов, используемых в этом плане для перевозки МС, под надежностью маршрута — минимальную из надежностей дорог, из которых этот маршрут состоит.

Указанный прием вычисления надежностей маршрутов и всего плана подвоза МС в ходе ликвидации последствий ЧС основан на формуле (1), ведь высказывание “маршрут надежен” является конъюнкцией высказываний “дорога надежна” для всех дорог, составляющих этот маршрут. Аналогично высказывание “план надежен” есть конъюнкция высказываний “маршрут надежен” для всех маршрутов, используемых для осуществления перевозок МС в рамках этого плана.

Приведем описание двух подходов к определению степени надежности дороги.

В рамках многокритериальной оптимизации разработано довольно много методов сведения множества частных критериев к единому обобщенному критерию [10–12], что позволяет упорядочить изучаемые альтернативы по значениям этого обобщенного критерия. В работе предлагается еще один подход к построению единого обобщенного критерия по заданным частным.

Рассмотрим задачу с нечеткой целью, как это в свое время предложили Л. Заде и Беллман [13, 14]. Будем рассматривать задачу упорядочения дорог (альтернатив) как задачу векторной оптимизации с двумя частными критериями, например  $f_1$  — защищенность дороги и  $f_2$  — дальность обзора с дороги,  $f_1:U \rightarrow R^1, f_2:U \rightarrow R^1$  (где  $U$  — множество альтернатив). Защищенность дороги характеризуется числом постов ГИБДД на 100 км, дальность обзора — средним расстоянием (м), на которое дорога четко просматривается по обочинам. Заметим, что оба частных критерия максимизируемые, т. е. лучшим альтернативам соответствуют большие значения частных критериев. Частная нечеткая цель формализуется нечетким множеством  $X_{ц}^i$  (доли ед.), где  $i = 1, 2$  (например, “почти  $f_i^*$ ”, где  $f_i^*$  — максимальное значение  $i$ -го частного критерия), с функцией принадлежности  $\mu_i(x)$  (доли ед.),  $x \in U$ , где

$U$  — универсальное множество (множество допустимых альтернатив).  $\mu_i(x)$  — это степень истинности нечеткого высказывания “дорога  $x$  надежна”. Например, пусть  $\mu_1 = 0,7$  (где  $\mu_1$  — дорога от Москвы до Тулы), тогда степень уверенности в том, что эта дорога полностью защищена, равна 0,7 (70 %). Л. Заде и Беллман в качестве возможных функций принадлежности в первом приближении рассматривают линейные функции — нормированное отклонение значения частного критерия от минимального, например:

$$\mu_i(x) = \frac{f_i(x) - f_i^0}{f_i^* - f_i^0},$$

где  $f_i^0$  — минимальное значение критерия  $f_i$  ( $i = 1$  шт.,  $i = 2$  м).

Здесь предполагается, что частные критерии эквивалентны по важности. Если это не так, то можно использовать для задания функций принадлежности более сложные, чем линейные, зависимости, например:

$$\mu_i(x) = \left( \frac{f_i(x) - f_i^0}{f_i^* - f_i^0} \right)^\alpha, \quad \alpha > 0,$$

или зависимости, примеры графиков которых приведены на рис. 1.

Нечеткая цель заключается в конъюнкции частных целей, поэтому функция принадлежности  $\mu(x)$  нечеткого множества цели  $X_{ц}$ , формализующего нечеткую цель, есть минимум функций принадлежности нечетких множеств, формализующих частные нечеткие цели:

$$\mu(x) = \min\{\mu_1(x), \mu_2(x)\}. \quad (3)$$

В рамках второго подхода, основанного на методе нечеткого вывода Мамдани и Ассилиани [15], дороги предлагается упорядочивать по значениям функции  $\mu(x)$ : чем больше это значение, тем надежнее дорога.

Будем рассматривать этот подход, опираясь на пример, связанный с оценкой надежности дороги. Заметим, что использование подхода Мамдани для

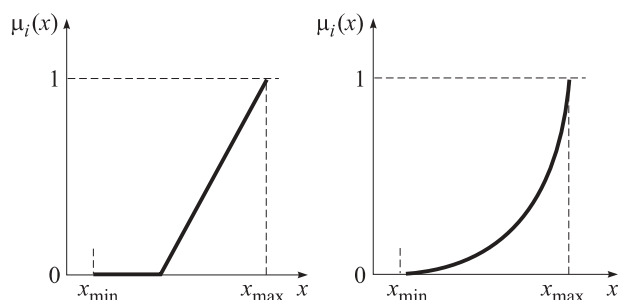


Рис. 1. Возможные графики функции принадлежности:  $x_{\min}$  — точка минимума;  $x_{\max}$  — точка максимума частного критерия

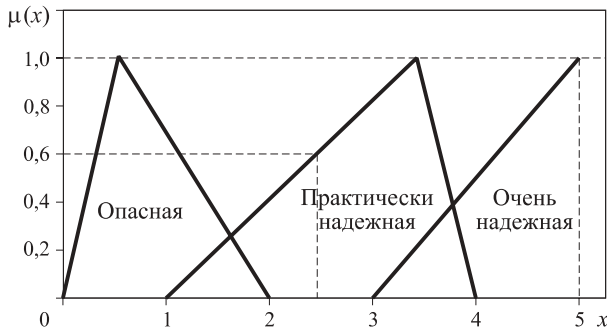


Рис. 2. Графики функций принадлежности термов лингвистической переменной “надежность”

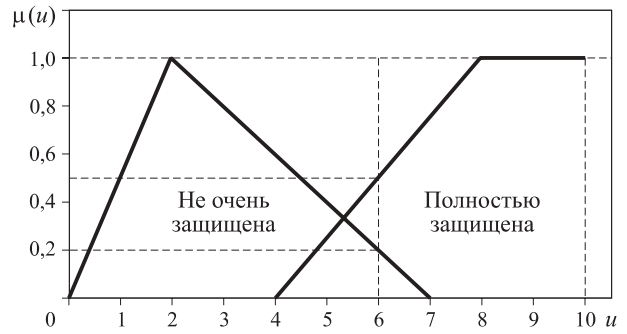


Рис. 3. Термы переменной “защищенность”:  $u$  — число постов ГИБДД на 100 км

решения задач векторной оптимизации подробно изложено в работе [7].

В рамках дальнейшего изложения предлагаемого подхода отметим, что надежность дороги (выходная переменная) есть нечеткая лингвистическая переменная “надежность” с термами, например “очень надежная”, “практически надежная”, “опасная” (рис. 2). Эти термы формализуются с помощью нечетких множеств на универсальном множестве чисел-оценок [5].

Уровень надежности зависит от двух входных нечетких лингвистических переменных, например “защищенность” с термами “полностью защищена”, “не очень защищена” и “дальность обзора” с термами “очень скрытно”, “почти открыто”, “открыто”.

В качестве универсального множества для первой из этих переменных будем использовать множество возможных значений количества постов ГИБДД на 100 км дороги, обозначив его  $U$ ; пусть  $U = [0; 10]$ . Для второй переменной универсальным множеством является множество значений средней дальности обзора обочин, обозначим его  $V$  (м); пусть  $V = [0; 400]$ . Функции принадлежности термов этих лингвистических переменных имеют графики, представленные на рис. 3 и 4.

Задана база знаний, содержащая информацию о терме выходной переменной в зависимости от сочетания значений (термов) входных переменных (табл. 1).

Для оцениваемой дороги задаем числовые значения входных переменных, например для переменной “защищенность” — 6 постов ГИБДД на 100 км, для переменной “дальность обзора” — 300 м. Согласно этим данным и рис. 3 и 4 степень уверенности (значение соответствующей функции принадлежности) в том, что переменная “защищенность” имеет значение “полностью защищена”, равна 0,5, “не очень защищена” — 0,2; степень уверенности в том, что термы переменной “дальность обзора” имеют значения “очень скрытно”, равна 0, “почти открыто” — 0,25, “открыто” — 0,5 (табл. 2).

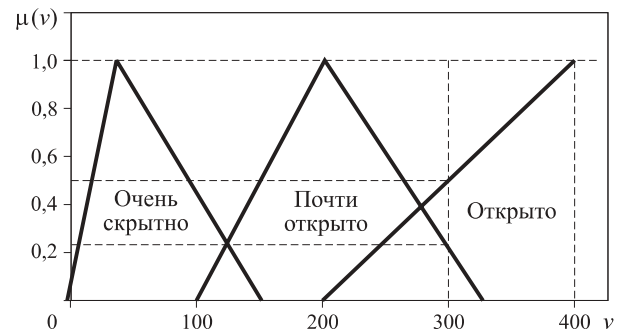


Рис. 4. Термы переменной “дальность обзора”:  $v$  — просматриваемая дальность, м

Таблица 1. База знаний

Защищенность	Дальность обзора		
	Открыто	Почти открыто	Очень скрытно
Полностью защищена	Очень надежная	Очень надежная	Практически надежная
Не очень защищена	Практически надежная	Практически надежная	Опасная

Таблица 2. Надежность термов выходной переменной при заданных  $u = 6$  и  $v = 300$

Защищенность	Дальность обзора		
	Открыто (0,5)	Почти открыто (0,25)	Очень скрытно (0,0)
Полностью защищена (0,5)	Очень надежная (0,5)	Очень надежная (0,25)	Практически надежная (0,0)
Не очень защищена (0,2)	Практически надежная (0,2)	Практически надежная (0,2)	Опасная (0,0)

Для всех возможных сочетаний значений этих переменных по базе знаний определяем значение оценки выходной переменной “надежность” (соответствующий терм) и значение функции принадлежности (уверенности в том, что значением переменной “надежность” является именно этот терм).

**Таблица 3.** Степень принадлежности различных значений выходной переменной при  $u = 6$  и  $v = 300$

Терм выходной переменной	Значения выходной переменной ( $x$ )										
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Очень надежная (0,5)	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Практически надежная (0,2)	0	0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0	0	0

Так, если уверенность в том, что значением переменной “защищенность” является терм “полностью защищена”, равна 0,5 и уверенность в том, что значением переменной “дальность обзора” является терм “открыто”, равна 0,5, то значением выходной переменной с уверенностью, равной минимальному из этих двух чисел (формула (1)), будет терм “очень надежная”.

Согласно табл. 2 положительные значения функций принадлежности имеют место только для двух термов выходной переменной — “очень надежная” и “практически надежная”. При рассматриваемых значениях входных переменных терм “очень надежная” может оказаться значением выходной переменной только в двух случаях и только при наступлении ситуации, состоящей в объединении (конъюнкции) двух сочетаний значений входных переменных:

1) значением переменной “защищенность” является терм “полностью защищена”, переменной “дальность обзора” — терм “открыто”; значение функции принадлежности для этого сочетания равно 0,5 (формула (3));

2) значением переменной “защищенность” является терм “полностью защищена”, а переменной “дальность обзора” — терм “почти открыто”; значение функции принадлежности для этого сочетания равно 0,25 (формула (3)).

По формуле (2) получаем, что при рассматриваемых значениях входных переменных степень уверенности в том, что значением выходной переменной будет терм “очень надежная”, равна максимальному из значений 0,5 и 0,25, т. е. 0,5. Аналогично степень уверенности в том, что значением выходной переменной при заданных значениях входных будет терм “практически надежная”, равна 0,2.

Определим теперь степень принадлежности различных числовых значений выходной переменной (с шагом 0,5) при указанных сочетаниях термов

входных переменных (табл. 3) при  $u = 6$ ,  $v = 300$ . Например, степень принадлежности числового значения 2 терму “очень надежная” равна нулю (см. рис. 2); аналогично степень принадлежности значения 2,5 терму “практически надежная” равна 0,6.

В табл. 4 даны степени принадлежности разных числовых значений выходной переменной с учетом степени принадлежности соответствующего выбора выходного терма. Напомним, что при  $u = 6$  и  $v = 300$  эти надежности равны 0,5 для терма “очень надежная” и 0,2 — для терма “практически надежная”.

В поз. 3 табл. 4 указаны значения функции принадлежности  $\mu_E(x)$  нечеткого множества “значение выходной переменной при наборе значений входных переменных  $u = 6$ ,  $v = 300$ ”, рассчитанные по формуле (3), т. е. степень уверенности в том, что дорога с такими значениями факторов заслуживает соответствующей оценки.

Для получения окончательной оценки надежности используется “центр тяжести”, т. е. отношение суммы произведений значений поз. 1 табл. 4 на соответствующие значения факторов в поз. 3 к сумме значений поз. 3:

$$(1,5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 2,5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 3,5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,5 + 4,5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,5) (0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,25 + 0,5 + 0,5 + 0,5)^{-1} = 3,696 \approx 4.$$

Таким образом, значением оценки является 4.

Для решения поставленной в статье задачи необходимо рассмотреть вопросы использования полученных выше “наиболее надежных” маршрутов в рамках транспортной задачи. Поскольку используемый для этой цели алгоритм подробно описан в работе [9], приводим его в настоящей статье на концептуальном уровне, отсылая читателя к статье [9].

Предполагая, что использовать можно любую дорогу, находим, применяя алгоритм отыскания кратчайшего маршрута [16], для каждой пары склад — потребитель наиболее экономически эффективный маршрут. С использованием полученных маршрутов

**Таблица 4.** Степени принадлежности различных значений выходной переменной при  $u = 6$  и  $v = 300$

№ п/п	Терм выходной переменной	Значения выходной переменной ( $x$ )										
		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	Очень надежная (0,5)	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0,5
2	Практически надежная (0,2)	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0	0
3	$\mu_E(x)$	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,5	0,5	0,5

тов решаем транспортную задачу [17]. Находим надежность полученного плана.

Запрещаем использование дорог, имеющих надежность, которая равна или меньше надежности полученного плана. Снова с помощью алгоритма отыскания кратчайшего маршрута для каждой пары склад — потребитель находим наиболее экономически эффективный маршрут (используя только незапрещенные дороги). Учитывая полученные маршруты, решаем транспортную задачу. Находим надежность полученного плана.

Запрещаем использование дорог, имеющих надежность, которая равна или меньше надежности полученного плана. Указанный итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не получим задачу, в решении которой используются запрещенные маршруты. Это означает, что без их использования задача не имеет решения.

Следует отметить, что транспортная задача, рассматриваемая на предпоследнем этапе, имеет допу-

стимые планы, в каждом из которых могут использоваться только незапрещенные маршруты, причем надежность любого из этих планов максимальна. Оптимальный же план этой задачи обладает еще и тем свойством, что суммарные расходы по его реализации минимальны по сравнению со всеми другими допустимыми планами.

### Заключение

Практический опыт разработки моделей систем с использованием нечеткого логического вывода свидетельствует о том, что сроки и стоимость их проектирования значительно меньше, чем при использовании для этих целей традиционного математического аппарата. При этом обеспечивается требуемый уровень устойчивости к неточностям моделей и их прозрачности, а результаты моделирования могут быть использованы для формирования показателей риска при выборе аварийно-спасательного оборудования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных А. К., Копкин Е. В., Скопцов А. А. Прогнозирование управления перевозками в условиях чрезвычайной ситуации регионального масштаба на транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере : научно-аналитический журнал. — 2015. — № 2(34). — С. 56–65.
2. Барановский Н. В., Жарикова М. В. ВЕБ-ориентированная геоинформационная система оценки лесной пожарной опасности (на примере Пролетарского лесничества Украины) // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 47–55.
3. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М. : Мир, 1976. — 167 с.
4. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. — 1965. — Vol. 8, No. 3. — P. 338–353. DOI: 10.1016/s0019-9958(65)90241-x.
5. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети. — М. : Бином, 2006. — 315 с.
6. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 725 с.
7. Вилков В. Б., Черных А. К., Гарькушев А. Ю., Сазыкин А. М. Оценка качества решений на применение внутренних войск на основе многокритериальной оптимизации // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. — 2016. — № 1-2(91-92). — С. 43–50.
8. Вилков В. Б., Редько В. Г. Нечеткие множества в задачах моделирования оптимальных вариантов подвоза материально-технических средств // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. — 2015. — № 3-4. — С. 79–82.
9. Черных А. К., Козлова И. В., Вилков В. Б. Вопросы прогнозирования материально-технического обеспечения с использованием нечетких математических моделей // Проблемы управления рисками в техносфере : научно-аналитический журнал. — 2015. — № 4(36). — С. 107–117.
10. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Порето-оптимальные решения многокритериальных задач. — М. : Наука, 1982. — 256 с.
11. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. — М. : Радио и связь, 1981. — 560 с.
12. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. — М. : Наука, 1971. — 383 с.
13. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. — М. : Наука, 1981. — 206 с.
14. Bellman R. E., Zadeh L. A. Decision-making in a fuzzy environment // Management Science. — 1970. — Vol. 17, No. 4. — P. B-141–B-164. DOI: 10.1287/mnsc.17.4.b141.
15. Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. — 1975. — Vol. 7, No. 1. — P. 1–13. DOI: 10.1016/s0020-7373(75)80002-2.

16. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. — М. : Мир, 1974. — 520 с.
17. Лемешко Б. Ю. Методы оптимизации. — Новосибирск : НГТУ, 2009. — 126 с.

*Материал поступил в редакцию 31 мая 2016 г.*

**Для цитирования:** Черных А. К., Вилков В. Б. Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 9. — С. 52–59. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.

English

## MANAGEMENT OF TRANSPORTATION SAFETY AT THE ORGANIZATION OF MATERIAL MAINTENANCE OF FORCES AND MEANS EMERCOM OF RUSSIA IN EMERGENCIES

**CHERNYKH A. K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Retraining and Advanced Training Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moscowskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: nataliachernykh@mail.ru)

**VILKOV V. B.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of General Scientific and Technical Disciplines Department, Military Academy of Logistics behalf of the Army General A. V. Khrulev (Makarova Quay, 8, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation)

### ABSTRACT

At the organization of material support of forces and means of Emercom of Russia being engaged in liquidation of consequences of emergency situations an important role plays the task of selecting, on the one hand of the safest, and on the other hand — possible economical routes on which to perform the supply of material resources for the purposes described above. At the same time (it is very important) the safety performance indicators of roads are not clearly defined a priori. In order to overcome this uncertainty in the source data it is proposed to use the theory of fuzzy sets and fuzzy logic.

The article contains a brief summary of the provisions of the branches of mathematics required to solve this problem.

The main result of this work is to develop two approaches to assessing the reliability of the plans of supply of material resources to the forces and means of Emercom being engaged in liquidation of consequences of emergency situations. The reliability of a road is proposed to characterize by the truth value of the statement “the road is reliable”, the reliability of a supply plan of material resources refers to the minimum of the reliabilities of routes used in this plan. The reliability of a route is the minimum of the reliabilities of roads, of which the route consists. The specified technique of calculation of reliability of routes and the entire plan is based on the definition of the conjunction of fuzzy statements.

To determine the reliability of a road two approaches are considered, which are associated with the calculation of the value of the output indicator “reliability” using the known values of the input parameters. The first indicator — “protection” is measured by the number of the Traffic Police posts of on 100 kilometers of road, and the second “viewing distance” is the average distance at which a side of the road is viewed. In the first approach the output value is considered as a convolution of the input that is performed using the ideas of the theory of vector optimization and ideas of Zadeh and Bellman. The second approach is based on the method of Mamdani fuzzy inference. Here, for given values of the input indicators it is constructed a membership function of the output, provided that the input took the specified values. Obtained by converting a fuzzy set into a crisp number the value of the output indicator is proposed to use as reliability characteristics of the road.

In conclusion a relatively simple algorithm is given for selecting the most reliable plans of supply of material resources to the forces of Emercom of Russia and among them of the most cost-effective plans.

**Keywords:** emergency; delivery plan; material resources; performance criteria; optimal plan; fuzzy set; fuzzy logic; linguistic variable.

## REFERENCES

1. Chernykh A. K., Kopkin E. V., Skoptsov A. A. Forecasting of management of transportations in the conditions of the emergency situation of regional scale on transport. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. Nauchno-analiticheskiy zhurnal (Problems of Technosphere Risk Management. Scientifically-Analytical Magazine)*, 2015, no. 2(34), pp. 56–65 (in Russian).
2. Baranovskiy N. V., Zharikova M. V. WEB-oriented geoinformation system of forest fire danger estimation (on example of the Proletarian forest area of Ukraine). *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 47–55 (in Russian).
3. Zadeh L. A. *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate solutions*. Moscow, Mir Publ., 1976. 167 p. (in Russian).
4. Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8, no. 3, pp. 338–353. DOI: 10.1016/s0019-9958(65)90241-x.
5. Yakhyaeva G. E. *Fuzzy sets and neural networks*. Moscow, Binom Publ., 2006. 315 p. (in Russian).
6. Leonenkov A. V. *Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH*. Saint Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2005. 725 p. (in Russian).
7. Vilkov V. B., Chernykh A. K., Garkushev A. Yu., Sazykin A. M. Assessment of quality of decisions on application of special troops on the basis of multicriteria optimization. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskkiye sredstva protivodeystviya terrorizmu (Enginery Problems. Series 16. Anti-Terrorist Engineering Means)*, 2016, no. 1-2(91-92), pp. 43–50 (in Russian).
8. Vilkov V. B., Redko V. G. Fuzzy sets for modeling optimal transportation logistics facilities. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskkiye sredstva protivodeystviya terrorizmu (Enginery Problems. Series 16. Anti-Terrorist Engineering Means)*, 2015, no. 3-4, pp. 79–82 (in Russian).
9. Chernykh A. K., Kozlova I. V., Vilkov V. B. Issues of forecasting of material supply using indirect mathematical models. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. Nauchno-analiticheskiy zhurnal (Problems of Technosphere Risk Management. Scientifically-Analytical Magazine)*, 2015, no. 4(36), pp. 107–117 (in Russian).
10. Podinovskiy V. V., Nogin V. D. *Pareto-optimal solutions of multicriteria problems*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 256 p. (in Russian).
11. Kini R. L., Rayfa H. *Decision-making at many criteria: preferences and substitution*. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981. 560 p. (in Russian).
12. Germeyer Yu. B. *Introduction to the theory of operations research*. Moscow, Nauka Publ., 1971. 383 p. (in Russian).
13. Orlovskiy S. A. *The problem of decision making with fuzzy initial information*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 206 p. (in Russian).
14. Bellman R. E., Zadeh L. A. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 1970, vol. 17, no. 4, pp. B-141–B-164. DOI: 10.1287/mnsc.17.4.b141.
15. Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1975, vol. 7, no. 1, pp. 1–13. DOI: 10.1016/s0020-7373(75)80002-2.
16. Hu T. *Integer programming and flows in networks*. Moscow, Mir Publ., 1974. 520 p. (in Russian).
17. Lemeshko B. Yu. *Optimization methods*. Novosibirsk, NGTU Publ., 2009. 126 p. (in Russian).

**For citation:** Chernykh A. K., Vilkov V. B. Management of transportation safety at the organization of material maintenance of forces and means Emercom of Russia in emergencies. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 52–59. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.