

Maksimov Mikhail Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: maksimovm@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371632; the department of fundamental of radioengineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Sklifus Rada Viktorovna – e-mail: sklifuss@mail.ru; phone: +78634371632; the department of automatic control systems; student.

Maksimova Sofia Mikhailovna – Polytechnic Institute branch of the Don State Technical University in Taganrog; e-mail: sofiamaksimova.2003@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634623414; academic unit; student.

УДК 519.816:510.644.4

DOI 10.18522/2311-3103-2022-6-53-60

В.И. Данильченко, Е.В. Данильченко, В.М. Курейчик

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЙ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ*

Количественная оценка в коллективном поведении и принятии решений в нечетких условиях имеет решающее значение для обеспечения здоровья и безопасности населения. Задача моделирования и прогнозирования поведения в нечетких условиях, как известно, имеет повышенную сложность за счет большого количества факторов, из которых формируется NP-полная многокритериальная задача. Существует сложность в определении количественной оценки влияния нечетких факторов с помощью математической модели. В этой связи в работе предлагается модель принятия решений человеком для описания эмпирического поведения субъектов в эксперименте, имитирующем сценарий чрезвычайной ситуации. Разработанная нечеткая модель объединяет нечеткую логику в обычную модель социального поведения. В отличие от существующих моделей и приложений, такой подход использует нечеткие множества и функции принадлежности для описания процесса эвакуации в условиях чрезвычайной ситуации. Цель данной работы заключается в определении нечетких правил и анализ существующих решений. Научная новизна заключается в формировании набора факторов, которые формируют нечеткие правила принятия динамических решений. Постановка задачи в данной работе заключается в следующем: сформировать набор факторов, влияющие на поведение пешеходов, которые моделируются как нечеткие входные данные. Практическая ценность работы заключается в создании нового набора нечетких правил, позволяющий использовать их в алгоритме эвакуации для эффективного решения поставленной задачи. Принципиальное отличие от известных подходов в применении нового набора нечетких правил, который содержит факторы: «восприятия», «намерение», «отношение». Для реализации предложенной модели, процесса социального поведения при эвакуации, определены независимые переменные. Эти переменные включают измерения, связанные с социальными факторами, другими словами, поведением отдельных субъектов и отдельных малых групп, которые имеют основополагающее значение на ранней стадии эвакуации.

Эвакуация; человеческий фактор; управление рисками; нечеткие условия; многокритериальное принятие решений; интуитивистское нечеткое множество; групповое принятие решений.

V.I. Danilchenko, Y.V. Danilchenko, V.M. Kureichik

DEFINITION OF FUZZY CONDITIONS AND ANALYSIS OF EXISTING SOLUTIONS TO THE PROBLEM OF EVACUATION IN EMERGENCY SITUATIONS

Quantification in collective behavior and decision-making in fuzzy conditions is crucial to ensure the health and safety of the population. The task of modeling and predicting behavior in fuzzy conditions, as is known, has increased complexity due to a large number of factors from which an NP-complete multi-criteria problem is formed. There is a difficulty in quantifying the

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10121, <https://rscf.ru/project/22-71-10121/> в Южном федеральном университете.

impact of fuzzy factors using a mathematical model. In this regard, the paper proposes a stochastic model of human decision-making to describe the empirical behavior of subjects in an experiment simulating an emergency scenario. The developed fuzzy model combines fuzzy logic into a conventional model of social behavior. Unlike existing models and applications, this approach uses fuzzy sets and membership functions to describe the evacuation process in an emergency situation. The purpose of this work is to define fuzzy rules and analyze existing solutions. The scientific novelty lies in the formation of a set of factors that form fuzzy rules for making dynamic decisions. The problem statement in this paper is as follows: to form a set of factors affecting the behavior of pedestrians, which are modeled as fuzzy input data. The practical value of the work lies in the creation of a new set of fuzzy rules that allows them to be used in the evacuation algorithm for the effective solution of the task. The fundamental difference from the known approaches is in the application of a new set of fuzzy rules, which contains factors: perception, intention, attitude. To implement the proposed model, the process of social behavior during evacuation, independent variables are determined. These variables include measurements related to social factors, in other words, the behavior of individual subjects and individual small groups, which are fundamental at an early stage of evacuation.

Evacuation; human factor; risk management; fuzzy conditions; multi-criteria decision-making; intuitionistic fuzzy set; group decision-making.

Введение. В настоящее время особое внимание уделено ряду вопросам в области проблемы эвакуации. Рассматриваемая задача включает понимание того, как население реагирует на сигналы эвакуации, как отдельные группы людей реагируют на очевидный риск и как такие группы людей принимают решения о защитных действиях в результате различных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Отметим, что для отдельных участников группы далее будет использоваться термин «агент».

Имеющая литература достаточно информативна в данной области [1–3]. В данном исследовании рассматривается задача формирования модели принятия динамических коллективных решений в задачах эвакуации при чрезвычайных ситуациях в нечетких условиях, выделяя важные аспекты принятия решений об эвакуации, обсуждая исследования по предупреждению, восприятию риска и исследованию, посвященные конкретно эвакуации [3–5].

Планирование эвакуации. Перемещение эвакуированных за пределы потенциально незащищенных зон определяется как горизонтальная эвакуация. Перемещения на верхние уровни или в безопасные места внутри потенциально незащищенных зон считаются вертикальной эвакуацией [18–20].

До наступления бедствия могут быть предприняты следующие меры:

1. Заблаговременная эвакуация (упреждающая, или горизонтальная эвакуация): люди перемещаются из незащищенной зоны в безопасное место за пределами этой зоны до того, как произойдет бедствие. Упреждающая эвакуация возможна при адекватном прогнозе чрезвычайной ситуации, оповещении, а также достаточном времени для подготовки. Основанием для проведения данной меры защиты является краткосрочный прогноз возникновения чрезвычайной ситуации на период от нескольких десятков минут до нескольких суток [18].

2. Укрытие: люди перемещаются в убежища внутри потенциально незащищенной зоны. Укрытия или убежища должны быть высокими, прочными зданиями и/или сухими площадками.

3. Укрытие на месте (вертикальная эвакуация): люди перемещаются на более высокие уровни (например, верхние этажи) многоэтажных зданий в случае затоплений (до начала стихийного бедствия или также после его начала) [19].

После прихода бедствия выполняется следующее:

4. Спасение: перемещение пострадавших с помощью спасательных служб для выхода из опасной зоны.

5. Бегство: спасение путем бегства самой жертвы, для того чтобы уйти от опасности после ее наступления.

Для обеспечения эффективной и успешной массовой эвакуации подверженного опасности населения необходимы доэвакуационное планирование и подготовка. С приближением стихийного бедствия эксперту или группе экспертов (в зависимости от сложности задачи) необходимо принять решение об эвакуации. После того, как решение об эвакуации принято, должны быть составлены планы эвакуации. Таким образом, подготовку к эвакуации и управление ею можно разделить на три основных этапа: планирование; принятие решений; осуществление и управление эвакуацией.

Анализ существующих решений. Необходимость точного анализа решений об эвакуации обусловлена дороговизной, объективными трудностями, непопулярностью эвакуации среди населения. Однако лица, принимающие решения, сталкиваются с трудностями при всесторонней оценке обстоятельств принятия решений с учетом множества факторов и неопределенности. Исследования комплексных методов и моделей принятия решения об эвакуации для оценки ситуаций, связанных с большим объемом информации, в начале приближающегося стихийного бедствия до сих пор не исследованы. В этом случае подходящим инструментом для моделирования неопределенности, присущей задачам эвакуации, служит нечеткая логика [15–17].

Нечеткая логика – это логико-математический подход, который позволяет представить приблизительные, а не точные рассуждения людей [17].

При изучении приложений нечеткой логики в управлении стихийными бедствиями и ЧС использование теории нечетких множеств позволяет включать не поддающуюся количественной оценке, неполную и недостижимую информацию, а также частично игнорируемые факты в модель принятия решений. В работе [3–8] рассматривается гибридный подход нечеткой кластеризации и оптимизации к совместному распределению логистики при чрезвычайных ситуациях. В работе [4–6] и др. применили теорию нечетких множеств для принятия решений в географической информационной системе к размещению убежищ при наступлении стихийных бедствий. В работах [5–7] разработали новую технику для устранения различных неопределенностей при принятии решений о водных ресурсах, что обеспечило осязаемое улучшение качества управления наводнениями. С использованием нечеткой комплексной оценки риска при поддержке принятия решений для ценообразования страхования с учетом нечеткости и неопределенности. В работах [7–9] предложен метод классификации зданий с точки зрения их уязвимости к возможному землетрясению. Наиболее важные факторы, влияющие на воздействие землетрясения на здания, и их взаимосвязь с пятью категориями опасности определяются нечеткими числами. Отношения представлены с помощью метода классификации центров опасности. В [10] использовали адаптивную сетевую систему нечеткого вывода для построения прогнозной модели управления водохранилищем. В [8–11] применяли методологию сбора мнений множества заинтересованных сторон, связанных с проблемами принятия решений по управлению наводнениями, с использованием теории нечетких множеств и нечеткой логики. Используя нечеткое ожидаемое значение, анализируются три различные возможные формы вклада отдельных заинтересованных сторон, чтобы получить совокупный вклад.

Анализ источников показывает, что статьи, использующие теорию нечетких множеств в управлении стихийными бедствиями, сосредоточены на оценке масштабов бедствий, таких как пожары, землетрясения и наводнения. Таким образом, существует ограниченное количество исследований, основанных на теории нечетких множеств, по управлению стихийными бедствиями, особенно по реагированию на стихийные бедствия и ЧС.

Определение нечетких условий в модели принятия динамических решений. Анализируются условия окружающей среды и индивидуальные атрибуты для определения ключевых условий, влияющих на процесс принятия решений пешеходами, как показано на рис. 1.

Процесс принятия решений может происходить на нескольких уровнях. Например, решения принимаются на основе всестороннего рассмотрения ситуаций окружающей среды, психологических рассуждений и физиологических движений [16–18].

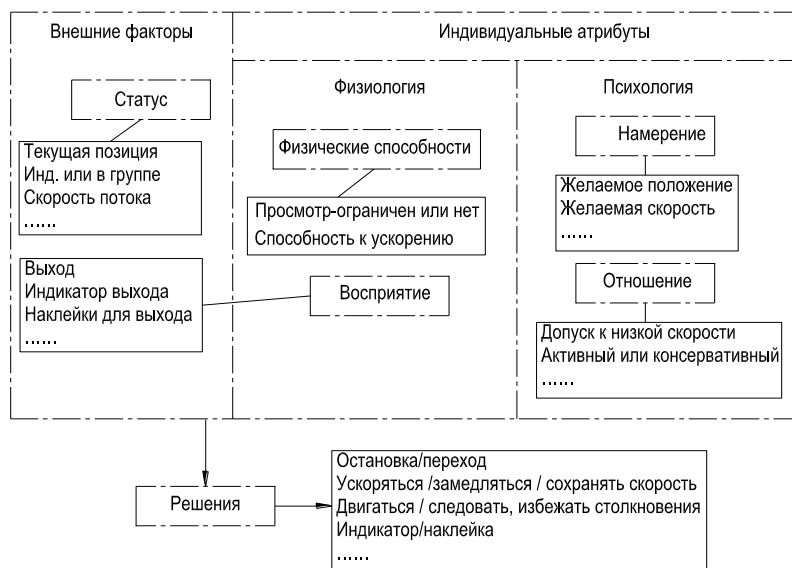


Рис. 1. Процесс принятия решений

Как показано на рис. 2, в данной статье для моделирования процесса эвакуации используется нечеткая логика. Условия, влияющие на поведение пешеходов, моделируются как нечеткие входные данные, а решения о движении моделируются как нечеткие выходные данные.

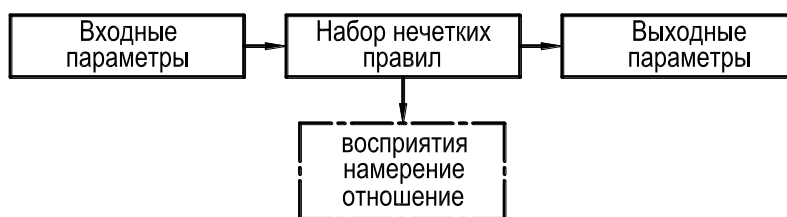


Рис. 2. Модель принятия динамических решений

Фактор «восприятия» включает в себя местоположение выхода, видимость указателя безопасного выхода/наклейки выхода, соседние агенты и различные препятствия.

Фактор «намерение» содержит значение скорости передвижения и координаты положения агента.

Фактор «отношение» содержит индивидуальные качества характера и стрессоустойчивости каждого агента. Различные комбинации позволяют агентам принимать различные решения, например, следует ли ему идти или остановиться, в какую позицию он должен двигаться и должен ли он двигаться в соответствии с указателем безопасного выхода/наклейками выхода.

Например, текущая скорость пешехода, положение, направление за группой, определяют его статус на следующем временном шаге.

Выбор и калибровка целевой функции основаны на результатах моделирования. В целевой функции используются методы: Гаусса, треугольного и средне-квадратичного отклонения [15]:

$$\text{triangmf}(x) = \begin{cases} 0, 1 & (x < a) \vee (x > c), (x == b) \\ (x - a)/(b - a) & (x < b) \\ (c - x)/(c - b) & \infty \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{sigmf}(x) = \frac{1}{1 + e^x}, \quad (2)$$

$$\text{gausmf}(x) = e^{-((x-c)^2/2)}, \quad (3)$$

где a – фактор «восприятия», b – фактор «намерение», c – фактор «отношение». Эти факторы отражают угол возрастания графика целевой функции и соответствуют выделенным в работе факторам входящих в нечеткие правила в задаче эвакуации при ЧС. Процесс предварительного формирования целевой функции повышает качество получаемых решений, учетом выделенных критериев. Таким образом, эффективность групповой эвакуации будет значительно повышена. По сравнению с традиционной моделью социального поведения нечеткая модель социального поведения, предложенная в данной статье, может решить эту проблему. Даже если индикаторы и наклейки не видны четко, пешеходы могут найти наилучшие альтернативные направления движения в моделировании [18–20]. Кроме того, опыт показывает, что расположение, количество и пространственное распределение индикаторов и наклеек влияет на эффективность эвакуации группы.

Применение нечетких условий в алгоритме принятия динамических решений при ЧС. Рассмотрим пример на основе целевой функции F_x , в которой используется в качестве показателя производительности модель принятия динамических решений в нечетких условиях:

$$F_x = 2 \frac{P \cdot R}{P + R}, \quad (4)$$

где P – это отношение решений с показателем целевой функции, удовлетворяющим критерий эффективности к общему количеству положительных решений, а R – решений с показателем целевой функции, удовлетворяющим критерий эффективности ко всем полученным решениям включая выборку ошибок.

Далее рассмотрим работу алгоритма [10, 11] в рамках предложенной целевой функции.

В соответствии с сформированной функцией нечетких условий и набором нечетких правил на их основе, инициализируется алгоритм поведения агентов при ЧС, описанный в работах [10, 11]. После каждой итерации целевая функция калибруется в соответствии с полученными текущими показателями.

В данном случае в модели задан постоянный параметр $\text{agents} = 40$ (количество агентов), который показывает количество агентов в помещении. Площадь стандартной модели помещения 100м^2 с двумя выходами. Графики показывают разные личные параметры агентов при моделировании модели. Стоит отметить, что параметр P (точность) является более важным показателем, чем R в случае эвакуации,

поскольку наблюдается большое количество ложных срабатываний или ошибочных вызовов, это обуславливает низкую точность, которая может увеличить уровень ложноположительных решений.

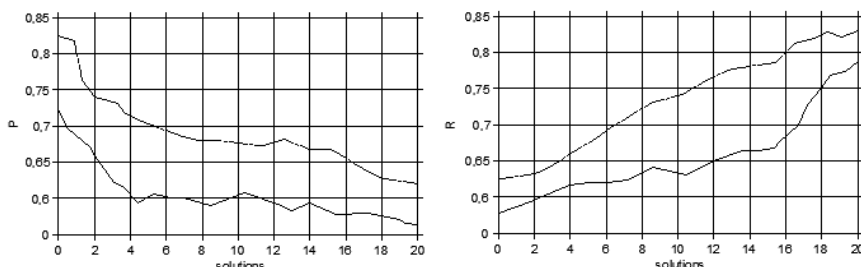


Рис. 3. Моделирования решений P , R

В этой работе получена оптимальная модель, в основном, на основе оценки значения целевой функции. Эта модель имеет одно из лучших решений в рамках заданных нечетких условий.

Заключение. Проведенный анализ нечетких условий показывает, что данная тематика является актуальной и описывается во ограниченном списке источников современной литературы. Рассмотрены основные источники описывающие нечеткие условия в области поведения при эвакуации. Сформулированные нечеткие условия используются для получения нечетких правил, которые могут в полной мере описать неопределенность поведения агентов при ЧС. В работе рассмотрены актуальные условия планирования эвакуации в нечетких условиях. Рассмотрена исследовательская литература по прогнозированию различных опасностей, моделям и методам оценки риска, времени эвакуации, планированию маршрутов эвакуации, критериям принятия решений об эвакуации. Исследование показало, что существует ограниченное количество исследований, основанных на теории нечетких множеств, по управлению ЧС, особенно по реагированию на стихийные бедствия. Так же, рассмотрена модель принятия динамических решений. По сравнению с традиционной моделью социального поведения нечеткая модель социального поведения, предложенная в данной статье, может частично решить проблему выбора правильного маршрута при чрезвычайных ситуациях на основе сформулированных нечетких условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gerasimenko E., Rozenberg I.* Earliest arrival dynamic flow model for emergency evacuation in fuzzy conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 734. – P. 1-6
2. *Bozhenyuk A., Gerasimenko E., Kacprzyk J., Rozenberg I.* Flow tasks solving in dynamic networks with fuzzy lower, upper flow bounds and transmission costs // Studies in Fuzziness and Soft Computing. – Vol. 346. – P. 77-159. – Springer-Verlag, Heidelberg, 2017.
3. *Bozhenyuk A., Belyakov S., Gerasimenko E., Savelyeva M.* Fuzzy Optimal Allocation of Service Centers for Sustainable Transportation Networks Service / In: Kahraman C., Sari İ. (eds) // Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications. Intelligent Systems Reference Library. – Vol. 113. – Springer, Cham, 2017.
4. *Reneke A.* Evacuation decision model. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2013.
5. *Kuligowski E.D.* Human behavior in fire // In The Handbook of Fire Protection Engineering. – P. 2070-2114. – Springer, 2016. – DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_58.
6. *Kuligowski E.D.* Predicting human behavior during fires // Fire Technology. – 2013. – Vol. 49 (1). – P. 101-120. – DOI: 10.1007/s10694-011-0245-6.

7. Akter T. and Simonovic S.P. Aggregation of fuzzy views of a large number of stakeholders for multi-objective flood management decision-making // *Journal of Environmental Management*. – 2005. – Vol. 77. – P. 133-143.
8. Roy B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods // *Theory and Decision*. – 1991. – Vol. 31, No. 1. – P. 49-73.
9. Greco S, Kadzinski M.V, Mousseau V. and Slowinski L. ELECTREGKMS: robust ordinal regression for outranking methods // *European Journal of Operational Research*. – 2011. – Vol. 214, No. 1. – P. 118-135.
10. Gerasimenko E., Kureichik V.V. Minimum cost lexicographic evacuation flow finding in intuitionistic fuzzy networks // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. – 2022. – Vol. 42 (1). – P. 251-263.
11. Danilchenko V.I., Danilchenko Y.V., Kureichik V.M. Bio-inspired Approach to Microwave Circuit Design // *IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM. EWDTs 2020*. – P. 362-366. – DIO: 10.1109/EWDTs 50664.2020.9224737.
12. Papamichail K., French S. Generating feasible strategies in nuclear emergencies-a constraint satisfaction problem // *Journal of the Operational Research Society*. – 1999. – No. 50 (6). – P. 617-626.
13. Sheu J.B. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters // *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*. – 2007. – Vol. 43. – P. 687-709.
14. Danilchenko V.I., Danilchenko Y.V., Kureichik V.M. Application of genetic algorithms in solving the problem of placing elements on a crystal taking into account the criterion of the maximum number of linear segments // *5th International Scientific Conference “Intelligent Information technologies for Industry”*. – 2021. – P. 10-14.
15. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Особенности использования нечетких генетических алгоритмов для решения задач оптимизации и управления // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2009. – № 4. – С. 130-136.
16. Родзин С.И. Вычислительный интеллект: немонотонные логики и графическое представление знаний // *Программные продукты и системы*. – 2002. – № 1. – С. 20-25.
17. Герасименко Е.М. Нечеткая модель нахождения максимального динамического потока для решения задачи эвакуации зданий // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2019. – No. 4 (206). – С. 15-26.
18. Родзин С.И. Биоэвристики многокритериальной оптимизации: проектирование и гибридизация // *Тр. межд. конгресса «IS&IT'18»*. – Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2018. –Т. 1. – С. 33-47.
19. Lombroso D., Vinet F. Tools to Improve the Production of Emergency Plans for Floods: Are They Being Used by the People that Need Them? // *Jour. of Contingencies and Crisis Management*. – 2012. – Vol. 20. – P. 149-165.
20. Yildiz M.C., Madden P.H. Improved Cut Sequences for Partitioning Based Placement // *IEEE Design Automation Conference*. – 2001. – P. 776-779.

REFERENCES

1. Gerasimenko E., Rozenberg I. Earliest arrival dynamic flow model for emergency evacuation in fuzzy conditions, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 734, pp. 1-6
2. Bozhenyuk A., Gerasimenko E., Kacprzyk J., Rozenberg I. Flow tasks solving in dynamic networks with fuzzy lower, upper flow bounds and transmission costs, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Vol. 346, pp. 77-159. Springer-Verlag, Heidelberg, 2017.
3. Bozhenyuk A., Belyakov S., Gerasimenko E., Savelyeva M. Fuzzy Optimal Allocation of Service Centers for Sustainable Transportation Networks Service, In: Kahraman C., Sari İ. (eds), *Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications. Intelligent Systems Reference Library*, Vol. 113. ,Springer, Cham, 2017.
4. Reneke A. Evacuation decision model. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2013.
5. Kuligowski E.D. Human behavior in fire, *In The Handbook of Fire Protection Engineering*, pp. 2070-2114. Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0 58.
6. Kuligowski E.D. Predicting human behavior during fires, *Fire Technology*, 2013, Vol. 49 (1), pp. 101-120. DOI: 10.1007/s10694-011-0245-6.

7. Akter T. and Simonovic S.P. Aggregation of fuzzy views of a large number of stakeholders for multi-objective flood management decision-making, *Journal of Environmental Management*, 2005, Vol. 77, pp. 133-143.
8. Roy B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, *Theory and Decision*, 1991, Vol. 31, No. 1, pp. 49-73.
9. Greco S, Kadzinski M.V. Mousseau V. and Slowinski L. ELECTREGKMS: robust ordinal regression for outranking methods, *European Journal of Operational Research*, 2011, Vol. 214, No. 1, pp. 118-135.
10. Gerasimenko E., Kureichik V.V. Minimum cost lexicographic evacuation flow finding in intuitionistic fuzzy networks, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2022, Vol. 42 (1), pp. 251-263.
11. Danilchenko V.I., Danilchenko Y.V., Kureichik V.M. Bio-inspired Approach to Microwave Circuit Design, *IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM. EWDTS 2020*, pp. 362-366. – DIO: 10.1109/EWDTS 50664.2020.9224737.
12. Papamichail K., French S. Generating feasible strategies in nuclear emergencies-a constraint satisfaction problem, *Journal of the Operational Research Society*, 1999, No. 50 (6), pp. 617-626.
13. Sheu J.B. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters, *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 2007, Vol. 43, pp. 687-709.
14. Danilchenko V.I., Danilchenko Y.V., Kureichik V.M. Application of genetic algorithms in solving the problem of placing elements on a crystal taking into account the criterion of the maximum number of linear segments, *5th International Scientific Conference "Intelligent Information technologies for Industry"*, 2021, pp. 10-14.
15. Gladkov L.A., Gladkova N.B. Osobennosti ispol'zovaniya nechetkikh geneticheskikh algoritmov dlya resheniya zadach optimizatsii i upravleniya [Features of using fuzzy genetic algorithms for solving optimization and control problems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4, pp. 130-136.
16. Rodzin S.I. Vychislitel'nyy intellekt: nemonotonnye logiki i graficheskoe predstavlenie znaniy [Computational intelligence: non-monotonic logics and graphical representation of knowledge], *Programmye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2002, No. 1, pp. 20-25.
17. Gerasimenko E.M. Nechetkaya model' nakhozheniya maksimal'nogo dinamicheskogo potoka dlya resheniya zadachi evakuatsii zdaniy [Fuzzy model of finding the maximum dynamic flow for solving the problem of evacuation of buildings], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2019, No. 4 (206), pp. 15-26.
18. Rodzin S.I. Bioevristiki mnogokriterial'noy optimizatsii: proektirovanie i gibridizatsiya [Bioheuristics of multicriteria optimization: design and hybridization], *Tr. mezhd. kongressa «IS&IT'18»* [Proceedings of the International Congress "IS&IT'18"]. Taganrog: Izd-vo Stupina S.A., 2018, T. 1, pp. 33-47.
19. Lombroso D., Vinet F. Tools to Improve the Production of Emergency Plans for Floods: Are They Being Used by the People that Need Them?, *Jour. of Contingencies and Crisis Management*, 2012, Vol. 20, pp. 149-165.
20. Yildiz M.C., Madden P.H. Improved Cut Sequences for Partitioning Based Placement, *IEEE Design Automation Conference*, 2001, pp. 776-779.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. Ю.П. Волощенко.

Данильченко Евгения Владимировна – Южный федеральный университет; e-mail: lipkina@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79525691761; кафедра САПР.

Данильченко Владислав Иванович – e-mail: vdanielchenko@sfedu.ru; тел.: +79526088561; кафедра САПР.

Курейчик Виктор Михайлович – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; тел.: +79282132730; кафедра САПР; д.т.н.; профессор.

Danilchenko Yevgenia Vladimirovna – Southern Federal University; e-mail: lipkina@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79525691761; the department of computer-aided design.

Danilchenko Vladislav Ivanovich – e-mail: vdanielchenko@sfedu.ru; phone: +79526088561; the department of computer-aided design.

Kureichik Viktor Mikhailovich – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; phone: +78634311487; the department of computer-aided design; dr. of eng. sc.; professor.