



9. Базилевский М.П., Носков С.И. Методические и инструментальные средства построения некоторых типов регрессионных моделей // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 1. С. 80–87.
10. Базилевский М.П., Носков С.И. Технология организации конкурса регрессионных моделей // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2009. № 7. С. 77–84.
11. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
12. Базилевский М.П. Программно-математическое обеспечение автоматизации многокритериального выбора регрессионных моделей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2012. 19 с.

## REFERENCES

1. Aivazyan S.A. Metody ekonometriki [Methods of Econometric]. Moscow: Magistr ; INFRA-M Publ., 2010, 512 p.
2. Dougherty Ch. Introduction to Econometrics. Oxford University Press, 2007, 480 p. (Russ. ed.: Dougerti K. Vvedenie v ekonometriku. Moscow: INFRA-M Publ., 2009, 465 p.).
3. Kleiner G.B. Proizvodstvennyye funktsii [Production functions]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1986, 239 p.
4. Kleiner G.B., Smolyak S.A. Ekonometricheskie zavisimosti: printsipy i metody postroeniya [Econometric dependencies: principles and methods of construction]. Moscow: Nauka Publ., 2000, 104 p.
5. Greene W.H. Econometric analysis. New York University, 2002, 994 p.
6. Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library : site. URL: <http://gretl.sourceforge.net/ru.html> (access date: 27.10.17).
7. Demidenko E.Z. Lineinaya i nelineinaya regressiya [Linear and nonlinear regression]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1981, 303 p.
8. Noskov S.I. Tekhnologiya modelirovaniya ob"ektov s nestabil'nym funktsionirovaniem i neopredelennost'yu v dannykh [The technology of modeling objects with unstable functioning and uncertainty in the data]. Irkutsk: Oblinformpechat' Publ., 1996, 321 p.
9. Bazilevskii M.P., Noskov S.I. Metodicheskie i instrumental'nye sredstva postroeniya nekotorykh tipov regressionnykh modelei [Methodical and instrumental means for constructing some types of regression models]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2012, No. 1, pp. 80–87.
10. Bazilevskii M.P., Noskov S.I. Tekhnologiya organizatsii konkursa regressionnykh modelei [Technology of the competition of regression models]. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem* [Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems], 2009. No. 7, pp. 77–84.
11. Draper N.R., Smith G. Applied Regression Analysis. Wiley-Interscience, 1998, 736 p. (Russ. ed.: Dreiper N., Smit G. Prikladnoi regressionnyi analiz. Moscow: Vil'yams Publ., 2007, 912 p.).
12. Bazilevskii M.P. Programmno-matematicheskoe obespechenie avtomatizatsii mnogokriterial'nogo vybora regressionnykh modelei : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Programmatic and mathematical support for the automation of multi-criteria choice of regression models: author's abstract. Ph.D. (Engineering) thesis]. Irkutsk, 2012, 19 p.

## Информация об авторах

## Authors

Базилевский Михаил Павлович - к. т. н., доцент кафедры «Математика», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mik2178@yandex.ru

Mikhail Pavlovich Bazilevsky – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the Subdepartment of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mik2178@yandex.ru

## Для цитирования

## For citation

Базилевский М. П. Разработка и исследование алгоритмов оценивания параметров аддитивной степенной регрессии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2017. - Т. 56, № 4. - С. 131–138. - DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).131-138.

Bazilevsky M. P. The development and research of algorithms of estimation of parameters of the additive degree regression. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2017. Vol. 56, No.4, pp. 131–138. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).131-138.

УДК 519.876.2, 004.421.2:519.178, 351.861(094.5)

DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).138-144

**В. С. Асламова, Е. А. Темникова, В. Е. Гозбенко**

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 22 сентября 2017 г.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ЦИКЛОМ

**Аннотация.** В статье приведены основные изменения, введенные в постановление Правительства РФ № 61 «Правила эвакуации населения, материальных и культурных ценностей в безопасные районы»: исключен термин «загородная зона», уточнены термины «рассредоточение», «зона возможных опасностей», определены полномочия руководителей гражданской обороны всех уровней, которые теперь обязаны осуществлять общее руководство проведением эвакуации и могут самостоятельно принимать решения о районах размещения рассредоточиваемых персонала и населения. Представлены математическая модель, алгоритм и программа автоматизированного расчета кратчайшего пути заблаговременной эвакуации населения, материальных и культурных ценностей в безопасный район с использованием личного, городского грузового и пассажирского транспорта. Математическая модель оптимизационной задачи сформулирована в виде линейной сетевой модели (графа), представляющей маршрут передвижения транспорта по существующей сети автомобильных дорог с циклом и имеющий наименьшую протяженность. Исходной вершиной маршрута служит сборный эвакуационный пункт либо место проживания,



а конечной – приемный эвакуационный пункт или личная дача, цифры на ребрах – длина пути между промежуточными пунктами. Дана краткая инструкция к программе автоматизированного расчета кратчайшего пути эвакуации, реализованной на алгоритмическом языке С#. Разработанная программа полезна при составлении маршрутов минимальной протяженности при заблаговременной эвакуации персонала, населения, материальных и культурных ценностей как из зон возможного катастрофического затопления, так и в случае экстренной эвакуации при чрезвычайной ситуации мирного и военного времени (например, при аварии на химически опасном объекте или во время перевозки легковоспламеняющихся, взрывчатых и радиоактивных грузов). Выбор кратчайшего маршрута эвакуации не только экономит время доставки в безопасные районы но и сократит транспортные расходы и уменьшит людские и материальные потери. Учитывая высокую оснащенность населения современными мобильными средствами связи, возможно реализовать предложенный алгоритм и в мобильном приложении.

**Ключевые слова:** автоматизация, гражданская оборона, чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, зона возможных опасностей, безопасный район, эвакуационный пункт, граф, линейная сетевая модель с циклом, эвакуация населения, материальных и культурных ценностей, алгоритм нахождения кратчайшего пути.

**V. S. Aslamova, E. A. Temnikova, V. E. Gozbenko**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

*Received: September 22, 2017*

## AUTOMATING CALCULATION OF THE SHORTEST WAY OF EVACUATION OF POPULATION ON THE TRANSPORT NETWORK WITH A CYCLE

**Abstract.** *The article contains the main changes introduced in the RF Government Resolution No. 61 "Rules for the Evacuation of the Population, Material and Cultural Values to Safe Areas": the term "suburban zone" is excluded, the terms "dispersal", "zone of possible dangers" are specified, heads of civil defense of all levels who are now obliged to conduct general management of the evacuation and can independently decide on the areas where dispersed personnel and the population are deployed. A mathematical model, an algorithm and a program for the automated calculation of the shortest path for the advance evacuation of the population, material and cultural values to a safe area using personal, urban freight and passenger transport are presented. The mathematical model of the optimization problem is formulated in the form of a linear network model (graph) representing the route of movement of transport along the existing road network with a cycle and having the shortest length. The starting point of the route is the collective evacuation point or place of residence, and the final one is the receiving evacuation point or personal cottage, the numbers on the edges are the length of the path between the intermediate points. A short instruction is given to the program for the automated calculation of the shortest path of evacuation, implemented in algorithmic language C#.*

**Keywords:** *civil defense, emergency situations of natural and technogenic nature, a zone of possible dangers, safe area, an evacuation point, a graph, a linear network model with a cycle, population evacuation, material and cultural values, an algorithm for finding the shortest path.*

### Введение

В настоящее время с наращиванием силового потенциала и приближением блока НАТО к границам России существенно возросла угроза национальной безопасности РФ [1-3]. В связи с возможностью применения противником высокоточного оружия при военных конфликтах объектами поражения станут, прежде всего, потенциально опасные объекты (ПОО) и объекты жизнеобеспечения: аэропорты, мосты, ТЭЦ, убежища и т. д. Обеспечение национальной безопасности в области защиты населения и территорий от опасностей, возникающих при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов и при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера (ЧСПТХ), выполняется и за счет совершенствования и развития единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС и гражданской обороны (ГО) [1]. Готовность сил и средств гражданской обороны обеспечивается заблаговременно путем проведения мероприятий по подготовке к защите и по защите населения, материальных и культурных ценностей на территории Российской Федерации. Произошли существенные изменения, касающиеся способов защиты населе-

ния, материальных и культурных ценностей в случаях ведения военных действий, катастрофического затопления и других ЧСПТХ, отраженные в следующих нормативно-правовых документах [4, 5]. Но по-прежнему эвакуация населения в безопасный район является самым надежным способом его физиологической защиты, позволяющим заблаговременно вывести население из зоны действия поражающих факторов.

### Нововведения в концепцию эвакуации

В работе [6] изложены основные изменения, введенные в порядок проведения эвакуации [5]. Исключен термин «загородная зона», уточнены термины «рассредоточение», «зона возможных опасностей» – совокупность зон вероятных сильных разрушений, катастрофических затоплений, радиоактивного, химического и бактериологического загрязнения. Именно из зоны возможных опасностей и планируется эвакуация персонала, населения, культурных и материальных ценностей.

Определены полномочия руководителей гражданской обороны всех уровней, которые теперь обязаны осуществлять общее руководство проведением эвакуации. Теперь они без межмуни-



ципальных согласований могут самостоятельно принимать решения о городских районах размещения рассредоточиваемых персонала и населения. Существенно уменьшены размер зоны возможных опасностей и число людей, подлежащих эвакуации.

Следует отметить, что нововведения не учитывают высокую обеспеченность граждан личными автомобилями и садоводческими участками, что позволяет, при необходимости, эвакуировать большую часть населения, не задействуя эвакуационные пункты. К сожалению, возможность использования личного транспорта и садоводческих участков при разработке планов эвакуации в нормативно-правовых документах не рассматривается [6]. Однако реализация эвакуации представляет собой сложный процесс в организационном, финансовом и материальном плане. Поэтому огромное значение для разработки автоматизированных процессов управления эвакуацией играет математическое моделирование расчета кратчайшего пути заблаговременной эвакуации.

Попытки использования методов и алгоритмов линейного программирования для расчета оптимального пути эвакуации представлены в работах [6-10]. Для поиска кратчайших путей между вершинами графа используются алгоритмы Уоршолла, Дейкстры, Форда, Флойда и Данцига. Они характеризуются разными вычислительными затратами, а наиболее эффективным многие считают алгоритм Дейкстры. В работе [9] модель горных выработок представлена в виде ориентированного графа. Для поиска оптимального пути эвакуации при аварии на шахте выбран алгоритм Дейкстры. В статье [10] предполагается разработать матема-

тическое обеспечение системы, чтобы создать уточненные модели затопления территорий и автоматизировать расчет оптимальных путей эвакуации населения. Для определения оптимальных путей эвакуации предполагается реализовать алгоритм Дейкстры в мобильном приложении.

#### Математическая модель нахождения кратчайшего пути эвакуации

Согласно постановлению Правительства РФ № 303 [5], в зависимости от времени и сроков проведения выделяются следующие виды эвакуации населения:

- упреждающая (заблаговременная), проводимая из прогнозируемых зон чрезвычайных ситуаций (ЧС);
- экстренная (безотлагательная – из зон действия поражающих факторов ЧС) [4].

Маршрутами эвакуации культурных и материальных ценностей, персонала, населения, ввода сил и средств ликвидации ЧС будут являться автомобильные дороги существующей транспортной сети, наиболее благоприятные для движения. Для сокращения сроков эвакуации необходимо выбирать маршрут, имеющий минимальную (кратчайшую) протяженность.

Рассмотрим задачу нахождения кратчайшего пути эвакуации, которая состоит в нахождении связанных между собой дорог на транспортной сети, имеющих в совокупности минимальную длину от исходного сборного эвакуационного пункта до пункта назначения (приемного эвакуационного пункта). Такую сеть дорог представим в виде графа с положительными весами, которые соответствуют протяженности данного участка, км (рис. 1).

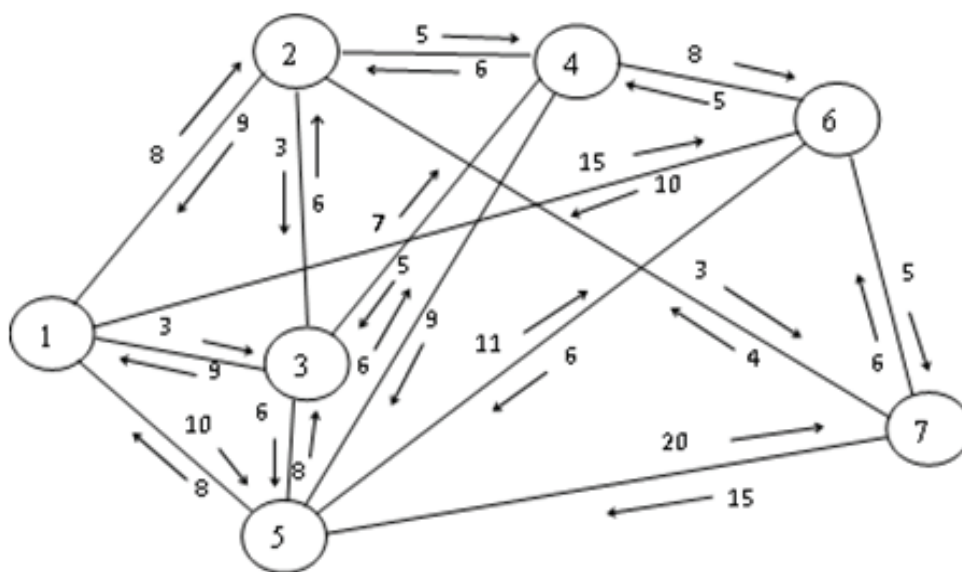


Рис. 1. Линейная сеть автомобильных дорог с циклом: 1 – исходный сборный эвакуационный пункт; 2-6 – промежуточные пункты; 7 – приемный эвакуационный пункт



Модель задачи о кратчайшем пути строится, исходя из следующих предположений:

1. Каждая переменная соответствует только одной дуге.
2. Каждое ограничение соответствует вершине сети.

Пусть  $x_{ij}$  представляет величину потока по дуге между вершинами  $(i, j)$ ,  $d_{ij}$  – длина дуги. Тогда математическая модель задачи о кратчайшем пути в сети с  $n$  узлами запишется в виде:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=2}^n x_{1j} = 1 \text{ (исходный эвакуационный пункт);} \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} = \sum_{j=1}^n x_{kj}, \text{ где } k \neq 1 \text{ и } k \neq n; \\ \sum_{i=1}^{n-1} x_{in} = 1 \text{ (приемный эвакуационный пункт);} \\ x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{array} \right.$$

Второе ограничение подразумевает, что какой поток зашел в промежуточный пункт, такой и вышел.

Ограничения представленной модели отвечают формулировке транспортной задачи с промежуточными пунктами: единица потока доставляется из узла 1 в узел  $n$ . В примере  $n = 7$ . Первым и последним ограничениями устанавливается, что суммарный поток, выходящий из узла 1, равен 1, как и суммарный поток, поступающий в узел  $n$ . В любом промежуточном узле суммарный входной поток равен суммарному выходному потоку. Следует отметить, что из-за наличия одностороннего движения величины  $d_{ij}$  и  $d_{ji}$  могут отличаться друг от друга.

#### Алгоритм нахождения кратчайшего пути эвакуации населения в сети с циклом

Обозначим  $v_j$  – сумма длин дуг, образующих цепь, ведущую из узла 1 в узел  $j$ ,  $u_i$  – кратчайшее расстояние от узла 1 до узла  $i$ . Положим  $v_1 = 0$  и  $u_i = v_i$ , если  $i = j$ . При условии, что  $i$  и  $j$  соединены дугой ( $d_{ij} \neq 0$ ), величина  $v_j$  определяется по формуле

$$v_j = \min\{u_i + d_{ij}\}. \quad (1)$$

Если дуга ориентирована (т. е. движение одностороннее), расстояние в другом направлении полагается равным бесконечности.

Алгоритм вычислений примет вид:

1.  $i = 1$  и  $v_1 = u_1 = 0$ .
2. В цикле  $j = 2$  до  $n$  для нахождения величины  $v_j$  по формуле (1) ищется узел  $i$ , находящийся на минимальном расстоянии  $\min = d_{ij}$  до узла  $j$ .
- 3.

$$v_j = \min; u_j = v_j.$$

4. В цикле с  $i = 1$  до  $n$  для всех  $j = 1$  до  $n$ , уточняем значения  $v_j$  с учетом двухстороннего движения. Если значения  $v_j$  верно вычислены, то для всех значений  $i$  и  $j$  должно выполняться неравенство

5.

$$v_j - u_i \leq d_{ij}. \quad (2)$$

6. Если неравенство (2) не выполняется, то между узлами  $i$  и  $j$  существует более короткий путь. Тогда пересчитываем по формуле  $v_j = u_i + d_{ij}$ . Заменяем  $u_j = v_j$ . Переход к следующему значению параметра цикла.

Если условие (2) во вложенном цикле не нарушалось, переходим к пункту 5, иначе идем на пункт 3.

7. Полученные значения  $v_j$  определяют кратчайшее расстояние между узлом 1 и узлами  $j = 2, 3, \dots, n$ . Длина кратчайшего пути от сборного пункта 1 до пункта назначения равна  $Z = v_n$ . Номера узлов кратчайшего пути будем хранить в массиве  $P$  ( $m = 1; P[m] = n$ ). Выполняем идентификацию узлов сети, образующих кратчайший путь, начиная с узла  $j = n$ .

8. Ищем узел  $i$ , предшествующий узлу  $j$ , для которого выполняется равенство

$$u_i = v_i - d_{ij}.$$

Запоминаем  $m = m + 1; P[m] = i; j = i$ .

9. Пока  $j \neq 1$ , переход на пункт 6, иначе – на пункт 8.

10. В цикле  $k$  от  $m$  до 1 с шагом «-1» печатаем номера узлов  $P[k]$  кратчайшего пути.

Алгоритм нахождения кратчайшего пути в сети автомобильных дорог, содержащей циклы, основан на рекурсивных вычислениях и более подробно с числовыми примерами рассмотрен в работе [11].

#### Апробация алгоритма

Программа автоматизированного расчета кратчайшего пути эвакуации реализована на алгоритмическом языке C#. На рис. 2 представлена главная форма программы.

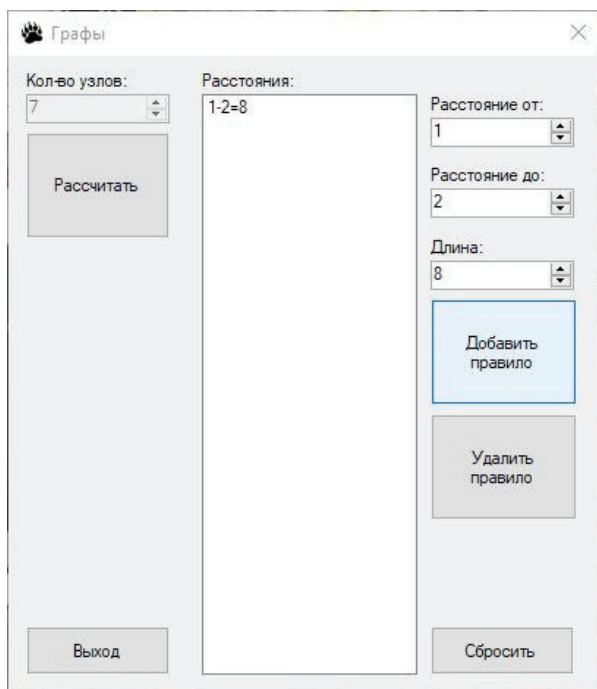


Рис. 2. Главная форма программы

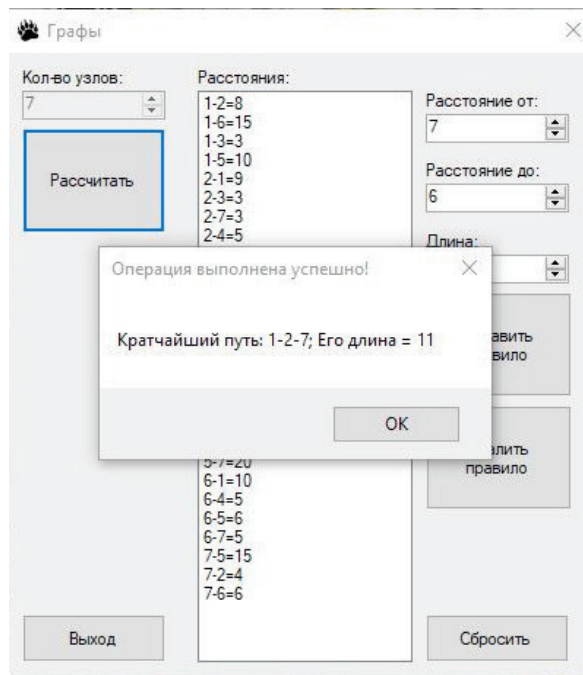


Рис. 3. Результаты работы программы

Для начала работы программы нужно задать в левом верхнем углу количество узлов сети и далее вводить расстояние (длину дуги) между выбранными номерами узлов сети. Если узлы между собой не связаны (отсутствует дуга между узлами), то следует ввести расстояние между узлами, равное 0, а если дуга ориентированная (односторонняя), то набрать большое число 32000. После ввода расстояния следует нажать кнопку «Добавить правило». В случае ошибочного ввода можно просто указать те же самые узлы и другое расстояние, программа найдет совпадающую запись и просто заменит ее, либо же можно удалить правило полностью. После заполнения матрицы расстояний необходимо нажать на кнопку «рассчитать». По окончании работы алгоритма программа выдаст длину кратчайшего пути эвакуации с указанием маршрута движения (рис. 3).

Программа была протестирована на данных, указанных на рис. 1. Получен кратчайший путь, идущий через узлы 1→2→7, который имеет минимальную протяженность, равную 11 км. Результат работы программы совпал с расчетом вручную.

### Заключение

Разработанная программа будет полезна при составлении маршрутов минимальной протяженности при заблаговременной эвакуации персонала, населения, материальных и культурных ценностей как из зон возможного катастрофического затопления, так и в случае экстренной эвакуации при чрезвычайной ситуации мирного и военного времени (например, при аварии на химически опасном объекте или во время перевозки легковоспламеняющихся, взрывчатых и радиоактивных грузов). Выбор кратчайшего маршрута эвакуации экономит время доставки в безопасные районы, сократит транспортные расходы и уменьшит людские и материальные потери. Учитывая высокую оснащенность населения современными мобильными средствами связи, целесообразно реализовать предложенный алгоритм в мобильном приложении.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года : указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009. № 537.
2. Вильданов Р.Р., Рыбаков А.В., Кочелаев А.А. О задаче рационального распределения спасательных плавсредств для эвакуации населения из зоны затопления // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 2. С. 114–119.
3. Кузьмин А.И., Кубиков Н.Н., Петешев И.В. Возможный подход к порядку проведения эвакуационных мероприятий в Российской Федерации // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 1. С. 19–23.
4. О порядке эвакуации населения, материальных и культурных ценностей в безопасные районы : постановление правительства Российской Федерации от 22 июня. 2004. № 303
5. О внесении изменений в Правила эвакуации населения, материальных и культурных ценностей в безопасные районы : постановление правительства Российской Федерации от 03 фев. 2015. № 61.



6. Кузьмин А.И., Говоров Д.Н. Формирование современной концепции эвакуации // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 2. С. 20–26.
7. Мокина А.А., Асламова В.С. Нахождение кратчайшего пути заблаговременной эвакуации населения // Современные тенденции развития науки и техники. 2016. № 10-1. С. 84–89.
8. Мокина А.А., Асламова В.С. Нахождение кратчайшего эвакуационного пути в сети автомобильных дорог, содержащих циклы // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : сб. тр. Восьмой Междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Иркутск, 2017. С. 266–270.
9. Стойка Н.А. АПК «Безопасный город – переход от концепции общего мониторинга к персональной поддержке принятия решений гражданином на примере наводнений в Архангельской агломерации : сб. тезисов докл. СПб. : Изд-во ИТМО, 2017. Электрон. изд. : URL: [openbooks.ifmo.ru/ru/file/5884/5884.pdf](http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5884/5884.pdf). (дата обращения: 24.09.2017).
10. Черненко В.А., Фонотов А.М. Алгоритм поиска безопасных маршрутов вывода людей из шахты во время аварийных ситуаций : материалы конф. Донецк, 2012. URL: [ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/30171/1/Статья%2010.pdf](http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/30171/1/Статья%2010.pdf). (дата обращения: 24.09.2017).
11. Асламова В.С., Темникова Е.А. Теория принятия управленческих решений : учебное пособие. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2016. 208 с.

## REFERENCES

1. O strategii natsional'noi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii do 2020 goda : ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 12 maya 2009 [On the National Security Strategy of the Russian Federation until 2020: Presidential Decree of May 12, 2009]. No. 537.
2. Vil'danov R.R., Rybakov A.V., Kochelaev A.A. O zadache ratsional'nogo raspredeleniya spasatel'nykh plavсредств dlya evakuatsii naseleniya iz zony zatopeniya [On the problem of the rational distribution of lifeboats for the evacuation of the population from the flood zone]. Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity [Scientific and educational problems of civil protection], 2016, No. 2, pp. 114–119.
3. Kuz'min A.I., Kubikov N.N., Peteshev I.V. Vozmozhnyi podkhod k poryadku provedeniya evakuatsionnykh meropriyatii v Rossiiskoi Federatsii [A possible approach to the procedure for carrying out evacuation measures in the Russian Federation]. Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity [Scientific and educational problems of civil protection], 2016, No. 1, pp. 19–23.
4. O poryadke evakuatsii naseleniya, material'nykh i kul'turnykh tsennostei v bezopasnye raiony : postanovlenie pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 22 iyun. 2004 [On the procedure for the evacuation of the population, material and cultural values in safe areas: a decree of the Government of the Russian Federation of June 22, 2004]. No. 303
5. O vnesenii izmenenii v Pravila evakuatsii naseleniya, material'nykh i kul'turnykh tsennostei v bezopasnye raiony : po-stanovlenie pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 03 fev. 2015 [On Amendments to the Rules for the Evacuation of the Population, Material and Cultural Values in Safe Areas: the formation of the Government of the Russian Federation of 03 February, 2015.]. No. 61.
6. Kuz'min A.I., Govorov D.N. Formirovanie sovremennoi kontseptsii evakuatsii [Formation of the modern concept of evacuation]. Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity [Scientific and educational problems of civil protection], 2016, No. 2, pp. 20–26.
7. Mokina A.A., Aslamova V.S. Nakhozhdenie krachaishego puti zablagovremennoi evakuatsii naseleniya [Finding the shortest path of advance evacuation of the population]. Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhniki [Modern trends in the development of science and technology], 2016, No. 10-1, pp. 84–89.
8. Mokina A.A., Aslamova V.S. Nakhozhdenie krachaishego evakuatsionnogo puti v seti avtomobil'nykh dorog, soderzhashchikh tsikly [Finding the shortest evacuation path in a network of highways containing cycles]. Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona : sb. tr. Vos'moi Mezhdunar. nauch.-prakt. conf. [Transport infrastructure of the Siberian region: coll. pap. of the Eighth Intern. scientific practical. conf.] Vol. 1, Irkutsk, 2017, pp. 266–270.
9. Stoika N.A. APK «Bezopasnyi gorod – perekhod ot kontseptsii obshchego monitoringa k personal'noi podderzhke prinyatiya reshenii grazhdaninom na primere navodnenii v Arkhangel'skoi aglomeratsii : sb. tezisev dokl. ["Safe City is a transition from the concept of general monitoring to personal support for decision-making by a citizen on the example of floods in the Arkhangelsk agglomeration: a book of abstracts.]. St. Peterburg: ITMO Publ., 2017. Elektron. izd. : URL: [openbooks.ifmo.ru/ru/file/5884/5884.pdf](http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5884/5884.pdf). (access date: 24.09.2017).
10. Chernenko V.A., Fonotov A.M. Algoritim poiska bezopasnykh marshrutov vyvoda lyudei iz shakhty vo vremya avariinykh situatsii : materialy konf. [An algorithm for finding safe routes for the withdrawal of people from the mine during emergency situations: materials of conf.]. Donetsk, 2012. URL: [ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/30171/1/Stat'ya%2010.pdf](http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/30171/1/Stat'ya%2010.pdf). (access date: 24.09.2017).
11. Aslamova V.S., Temnikova E.A. Teoriya prinyatiya upravlencheskikh reshenii : uchebnoe posobie [The theory of making managerial decisions: a textbook]. Irkutsk: ISTU Publ., 2016, 208 p.



## Информация об авторах

## Authors

Асламова Вера Сергеевна - д. т. н., профессор кафедры «Техносферная безопасность», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: aslamovav@yandex.ru

Темникова Елена Александровна - к. т. н., ст. преподаватель кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: temnikova\_ea@bk.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич - д. т. н., профессор кафедры «Математика», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Vera Sergeevna Aslamova – Doctor of Engineering Science, Prof., the Subdepartment of Technospheric Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: aslamovav@yandex.ru

Elena Aleksandrovna Temnikova – Ph.D. in Engineering Science, Member of the Subdepartment of Information Systems and Information Protection, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: temnikova\_ea@bk.ru

Valeriy Erofeevich Gozbenko – Doctor of Engineering Science, Prof., the Subdepartment of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

## Для цитирования

## For citation

Асламова В. С. Автоматизация расчета кратчайшего пути эвакуации населения на транспортной сети с циклом / В. С. Асламова, Е. А. Темникова, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2017. -Т. 56, № 4. -С. 138–144. - DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).138-144.

Avtomatizatsiya rascheta kratchaishego puti evakuatsii naseleniya na transportnoi seti s tsiklom [Automating the calculation of the shortest way of evacuation of the population on the transport network with a cycle]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2017. Vol. 56, No. 4, pp. 138–144. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).138-144.

УДК 681.5

DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).144-151

**А. В. Данеев<sup>1</sup>, Р. А. Данеев<sup>2</sup>, В. Н. Сизых<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский институт МВД России, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 10 октября 2017 г.

## НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА И АНТРОПОЦЕНТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПЕРАТОРА

**Аннотация.** В настоящее время актуальной является проблема предупреждения нештатных ситуаций, возникающая вследствие возникновения непредвиденных природных и техногенных условий, при которых человек не в состоянии сам принять правильное решение и предотвратить опасную ситуацию. В статье на примере задачи предупреждения столкновений самолетов в воздухе предложена методология предотвращения опасных ситуаций, позволяющая помимо рекомендательных советов летчику выводить летательный аппарат (ЛА) на безопасную траекторию движения в автоматическом режиме в случае потери его работоспособности. Такая человеко-машинная (эргатическая) система управления строится как интегрированная система управления (трехуровневая), работающая в реальном и ускоренном времени для оценки нештатной ситуации. В работе обосновывается неформализованная информационная модель работы оператора, антропоцентрический подход к ее дальнейшей формализации. В соответствии с этим подходом оператор не рассматривается как часть динамической системы, а является для траекторного уровня управления внешним регулятором летательного аппарата. В качестве регулятора такого рода в работе рассматривается функция принадлежности из инструментария нечеткой логики (функция ошибки летчика) и антропоцентрическая информационная модель работы оператора – функция надежности некоторых операций летчика от ошибок при реализации этих операций. В анализируемой методологии организации интегрированной системы автоматического управления (САУ) внешние возмущения, а также неопределенности исполняют роль информационной «подпитки» и дают организовать процесс самоорганизации (антиэнтропийный) как процесс вычисления времени оператора на принятие решения. Интегрированная алгоритмически на всех уровнях (информационный, траекторный, пилотажный) система управления по ситуации дает интеллектуальное взаимодействие оператора с внешней средой, используя нечеткий регулятор - антропоцентрическую модель летчика.

**Ключевые слова:** человеко-машинная система, антропоцентрическая модель летчика, управление в условиях неопределенности, риск на принятие решения.

**A. V. Daneev<sup>1</sup>, R.A. Daneev<sup>2</sup>, V. N. Sizykh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> East-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, the Russian Federation

Received: October 10, 2017