2) Разработку и сертификацию практических методик, обеспечивающих оценку основных факторов надежности ПС на различных этапах их разработки (обращая основное внимание на оценку завершенности и отказоустойчивости ПС) с учётом современных представлений о технологии оценки и обеспечения надёжности ПС.

3) Разработку и сертификацию программных средств генерации тестовых данных, необходимых для качественной оценки надёжности ПС создаваемых АСУ СН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полонников Р.И., Никандров А.В.* Методы оценки показателей надёжности программного обеспечения. – СПб.: Политехника, 1992. – 78 с.
2. *Липаев В.В.* Надёжность программных средств. – М.: Синтег, 1998. – 222 с.
3. *Липаев В.В.* Процессы и стандарты жизненного цикла сложных программных средств. Справочник. – М.: Синтег, 2006. – 260 с.
4. *Василенко Н.В., Макаров В.А.* Модели оценки надёжности программного обеспечения // Вестник Новгородского государственного университета. – 2004. – № 28. – С. 126-132.
5. ГОСТ 28806-90. Качество программных средств. – М.: Госстандарт, 1991.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководство по их применению. Госстандарт России, 1993.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

Балыбердин Валерий Алексеевич – Научно-исследовательский институт Министерства обороны России; e-mail: baliberdinv@yandex.ru; 107564, г. Москва, Погонный проезд, 10; тел.: 89162386854; д.т.н.; профессор; ведущий научный сотрудник.

Степанов Олег Алексеевич – тел.: 89165095834; начальник управления; к.т.н.

Белевцев Андрей Михайлович – Научно-исследовательский институт технологий нового поколения; e-mail: ambelevtsev@yandex.ru; 121522, г. Москва, ул. Оршавская, 3; тел.: 89037691788; директор; д.т.н.; профессор.

Baliberdin Valery Alecseevich – Ministry of Defence of the Russian Federation; e-mail: baliberdinv@yandex.ru; 10, Pogonny'j, Moscow, 107564, Russia; phone: +79162386854; dr. of eng. sc.; professor, a leading researcher.

Stepanov Oleg Alecseevich – phone: +79165095834; cand. of eng. sc.; head the department.

Belevtsev Andrey Michailovich – Research institute of the new generation of Technologies; e-mail: ambelevtsev@yandex.ru; 3, Orshavckay street, Moscow, 121522, Russia; phone: +79037691788; director; dr. of eng. sc; professor.

УДК 681.327

А.В. Боженюк, С.Л. Беляков, И.Н. Розенберг

НАХОЖДЕНИЕ ЦЕНТРОВ НЕЧЕТКИХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ГРАФОВ НА ОСНОВЕ СИЛЬНОЙ СВЯЗНОСТИ[*]*

Рассмотрена задача оптимального размещения сервисных центров по минимаксному критерию. При этом предполагается, что информация, получаемая из географической информационной системы, представляется в виде графа с нечеткими интервальными расстояниями на ориентированных или неориентированных ребрах. Для решения поставлен-

[*] Работа частично выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 13-00-13103 офи_м_РЖД и № 14-01-00032а.

ной задачи в работе вводится понятие нечеткого множества сильной связности нечеткого интервального графа. Нечеткое множество сильной связности является инвариантом нечеткого интервального графа. Показано, что задача размещения сервисных центров сводится к задаче нахождения нечеткого множества сильной связности. В работе предложен метод нахождения нечеткого множества сильной связности нечеткого интервального графа. Данный метод является обобщением метода Магу для нахождения нечеткого множества баз нечеткого темпорального графа. Рассмотрен пример нахождения нечеткого множества сильной связности нечеткого интервального графа, на основе которого делается вывод об оптимальном размещении сервисных центров в зависимости от их количества.

Географическая информационная система; нечеткий интервал; нечеткий интервальный граф; нечеткое множество сильной связности; лингвистическая переменная.

A.V. Bozhenyuk, S.L. Belyakov, I.N. Rozenberg

CENTERS FINDING OF FUZZY INTERVAL GRAPHS ON THE BASIS OF STRONG CONNECTIVITY

In this paper the problem of optimal location of service centers is considered by minimax criterion. It is supposed that the information received from Geographic Information System is presented like graph with fuzzy interval distances on directed or undirected edges. To solve this problem, we introduce the concept of fuzzy set fuzzy interval strongly connected graph. Fuzzy set of strong connectivity is an invariant interval fuzzy graph. It is shown that the problem of service centers location is reduced to a problem of finding fuzzy set of strong connectivity. This paper presents a method for finding a fuzzy set of strongly connected fuzzy interval graph. This method is a generalization of Maghout method for finding fuzzy set of fuzzy temporal bases of fuzzy graph. An example of finding strongly connected fuzzy set of fuzzy interval graph is considered here.

Geographical information system; fuzzy interval; fuzzy interval graph; fuzzy set strong connectivity; linguistic variable.

Введение. Происходящее во всем мире широкомасштабное наращивание и разноплановое внедрение географических информационных систем (ГИС) в значительной степени связано с необходимостью совершенствования информационных систем, обеспечивающих принятие решений. ГИС предлагают широкий спектр функций, таких как поиск информации, ее отображение, аналитические инструментарии и поддержка принятия решений [1, 2]. Однако географические данные часто анализируются и связываются со значительной неопределенностью. Неопределенность присутствует во всем процессе географической абстракции: от приобретения данных до их использования [3]. Процесс абстракции и генерации реальных форм географических данных определяются как моделирование данных [4].

Одной из задач, решаемых с ГИС, является задача размещения центров [5]. В некоторых случаях критерий оптимальности может состоять в минимизации расстояния (или времени проезда) от центра обслуживания до самого отдаленного пункта обслуживания, другими словами – в оптимизации «наихудшего варианта» [6]. Однако очень часто информация, представляемая в ГИС, бывает приблизительной или недостаточно достоверной [7]. Поэтому при формализации задачи размещения центров может оказаться естественным использование субъективных оценок при определении расстояний между частями рассматриваемой территории или временем проезда, на основе опыта эксперта с использованием лингвистических переменных [8, 9].

В данной работе рассматривается подход к размещению центров обслуживания в случае, когда рассматриваемая территория задается в виде нечеткого графа с трапецеидальными функциями принадлежности расстояния или времени, а критерием оптимальности является минимизация суммы расстояний (или времени) от центров обслуживания до оставшихся вершин графа с возвратом.

Основные понятия и определения. Будем считать, что информация, полученная из ГИС, представлена в виде нечеткого интервального графа $\tilde{G} = (X, \tilde{U})$, в котором X – вершины графа, представляющие районы некоторой территории, а $\tilde{U} = \{< \tilde{l}_{ij} / (x_i, x_j) >\}$ – множество нечетких ориентированных ребер с весами в виде нечетких интервалов расстояний вида $\tilde{l}_{ij} = [\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}]$. Здесь $[\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}]$ – «около интервала $[a_{ij}, b_{ij}]$» – значение лингвистической переменной «расстояние между объектами», величины $a_{ij}, b_{ij} \in R^1$ и $a_{ij} \le b_{ij}$. Будем считать, что величина $\tilde{l}_{ii} = [0,0], \ \forall i \in \{1,2,...,n\}$.

Для обоснования решения данной задачи введем понятие интервальной сильной связности нечеткого интервального графа. Данное понятие является расширением понятий сильной связности и степени живучести для обычного ориентированного и нечеткого графов [10].

Пусть $\tilde{l}_1 = [\tilde{a}_1, \tilde{b}_1]$ и $\tilde{l}_2 = [\tilde{a}_2, \tilde{b}_2]$ – произвольные нечеткие интервалы. Если выполняются неравенства $a_1 > a_2$ и $b_1 < b_2$, то интервалы $\tilde{l}_1$ и $\tilde{l}_2$ будем называть несоизмеримыми, иначе, на интервалах $\tilde{l}_1$ и $\tilde{l}_2$ естественным образом можно задать отношения >, <, ≥, и ≤. Суммой нечетких интервалов $\tilde{l}_1$ и $\tilde{l}_2$ назовем интервал $\tilde{l}_1 = [\tilde{a}, \tilde{b}]$, в котором границы $a = a_1 + a_2$ и $b = b_1 + b_2$ [11].

Пусть на множестве интервалов $L=\{l_i\}$ заданы две операции *INCMIN(L)* и *INCMAX(L)* – выделение подмножеств наименьших и наибольших интервалов из множества интервалов L соответственно [12].

Так, если множество интервалов L={[10,15], [12,14], [12,17], [15,18]}, то *INCMIN(L)* = {[10,15], [12,14]} и *INCMAX(L)* = {[15,18]}.

Пусть x и y – произвольные вершины нечеткого интервального графа $\tilde{G} = (X, \tilde{U})$. Обозначим через $\tilde{L}_{xy}$ множество нечетких интервалов, с помощью которых вершина y достижима из вершины x. Тогда паре вершин (x,y) можно поставить в соответствие множество нечетких интервалов:

$$\tilde{L}(x,y) = INCMIN(\tilde{L}_{xy}) + INCMIN(\tilde{L}_{yx}).$$

Величина $\tilde{L}(x,y)$ определяет семейство несоизмеримых нечетких интервалов (или один), определяющее наименьшее нечеткое интервальное расстояние от вершины x до y и обратно.

Для любого подмножества вершин $Y \subseteq X$ определим семейство интервалов $\tilde{\Lambda}(Y)$, определяемых выражением

$$\tilde{\Lambda}(Y) = \underset{\forall y \in X \setminus Y}{INCMAX} \{ \underset{\forall x \in Y}{INCMIN} \{ \tilde{L}(x,y) \} \}.$$

Среди всех подмножеств, состоящих из одной вершины, выберем такие, у которых интервалы расстояния также являются наименьшими или несоизмеримыми, и обозначим их через $\tilde{\Lambda}_1$. Среди всех подмножеств, состоящих из двух вершин, выберем такие, у которых интервалы расстояния также является наименьшими или не сравниваемыми между собой, и обозначим их через $\tilde{\Lambda}_2$, и т.д.

Определение. Множество $\tilde{\Lambda} = \{<\tilde{\Lambda}_1/1>, <\tilde{\Lambda}_2/2>, ..., <\tilde{\Lambda}_n/n>\}$ назовем нечетким множеством сильной связности нечеткого интервального графа $\tilde{G}$.

Нечеткое множество сильной связности определяет совокупность наименьших или не сравниваемых между собой нечетких интервалов расстояний от любого района до некоторого центра обслуживания и обратно при обслуживании всей территории k центрами обслуживания ($k \in \{1,2,...,n\}$).

Для нахождения нечеткого множества сильной связности рассмотрим метод, являющийся обобщением метода Магу для нахождения нечетких интервальных баз [12].

Рассмотрим некоторое подмножество Y с семейством интервалов $\tilde{\Lambda}(Y)$. Пусть некоторый интервал $\tilde{l}$ принадлежит семейству $\tilde{\Lambda}(Y)$. Тогда для произвольной вершины $x_i \in X$ должно выполняться одно из условий: а) $x_i \in Y$; б) если $x_i \notin Y$, то существует некоторая вершина $x_j \in Y$, от которой до вершины x_i и обратно нечеткий интервал расстояния $\tilde{l}_{ji}$ не больше $\tilde{l}$. Иными словами, справедливо высказывание:

$$(\forall x_i \in X)[x_i \in Y \vee (\exists x_j \in Y \mid \tilde{l}_{ij} \le \tilde{l})]. \quad (1)$$

С каждой вершиной $x_i \in X$ нечеткого интервального графа свяжем булеву переменную p_i, равную 1, если вершина $x_i \in Y$, и 0, если вершина $x_i \notin Y$. Введем предикатную форму $Q(\tilde{l}_{ji})$, равную 1, если $\tilde{l}_{ji} \le \tilde{l}$, и 0 в противном случае. Используя аналогию между кванторами общности и существования с одной стороны, и операциями конъюнкция и дизъюнкция с другой, получаем истинность выражения

$$\Phi_B = \underset{i=\overline{1,n}}{\&}(p_i \vee \underset{j=\overline{1,n}}{\vee}(p_j \,\&\, Q(\tilde{l}_{ji})) = 1. \quad (2)$$

Полагая, что $Q(\tilde{l}_{ii}) = Q([0,0]) = 1$, выражение (2) перепишем как

$$\Phi_B = \underset{i=\overline{1,n}}{\&}(\underset{j=\overline{1,n}}{\vee}(p_j \,\&\, Q(\tilde{l}_{ji})) = 1. \quad (3)$$

Раскроем скобки в выражении (3) и приведем подобные члены, используя правила поглощения:

$$\begin{cases} Q(\tilde{l}_1) \& Q(\tilde{l}_2) = Q(\tilde{l}_1) \ \text{\textit{при}}\ \tilde{l}_1 \ge \tilde{l}_2; \\ p_1 \& p_2 \& Q(\tilde{l}_1) \& Q(\tilde{l}_2) \vee p_1 \& p_2 \& Q(\tilde{l}_3) = p_1 \& p_2 \& Q(\tilde{l}_1) \& Q(\tilde{l}_2) \ \text{\textit{при}}\ \tilde{l}_1 < \tilde{l}_3 \& \tilde{l}_2 < \tilde{l}_3; \\ p_1 \& p_2 \& Q(\tilde{l}_1) \vee p_1 \& Q(\tilde{l}_2) = p_1 \& Q(\tilde{l}_2) \ \text{\textit{при}}\ \tilde{l}_1 \ge \tilde{l}_2. \end{cases} \quad (4)$$

А в случае несоизмеримых интервалов, например, если $\tilde{l}_1 = [\tilde{a}_1, \tilde{b}_1]$, $\tilde{l}_2 = [\tilde{a}_2, \tilde{b}_2]$ и выполняется $a_1 > a_2$ и $b_1 < b_2$, то

$$Q(\tilde{l}_1) \,\&\, Q(\tilde{l}_2) = Q(\tilde{l}_3), \quad (5)$$

где нечеткий интервал $\tilde{l}_3 = [\tilde{a}_1, \tilde{b}_2]$.

В результате выражение (3) примет вид

$$\Phi_B = \underset{i=\overline{1,t}}{\vee}(p_{1i} \,\&\, p_{2i} \,\&\ldots\&\, p_{ki} \,\&\, Q(\tilde{l}_{1i}) \,\&\, Q(\tilde{l}_{2i}) \,\&\ldots\&\, Q(\tilde{l}_{ri})) = 1. \quad (6)$$

Можно доказать следующее свойство:

Свойство. Если в выражении (6) дальнейшее упрощение на основе правил (4) и (5) невозможно, то для каждого i-го дизъюнктивного члена совокупность всех вершин, соответствующая переменным, которые в нем присутствуют, дает некоторое множество с семейством несоизмеримых интервалов, определяемых присутствующими предикатами.

На основании данного свойства можно предложить следующий метод нахождения нечеткого множества сильной связности нечеткого интервального графа:

- для рассматриваемого нечеткого интервального графа $\tilde{G}$ записать выражение (3);
- упрощая выражение (3), используя правила нечеткого поглощения (4) и (5), привести его к виду (6);
- по полученным дизъюнктивным членам разложения (6) выписать нечеткое множество сильной связности.

Пример нахождения центров. Рассмотрим данный метод на примере нечеткого интервального графа, представленного на рис. 1

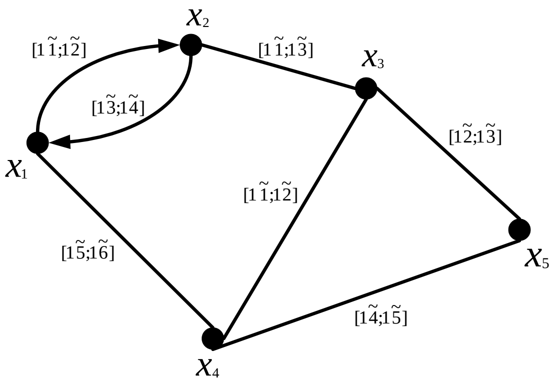

Рис. 1. Пример нечеткого интервального графа

Для данного графа составим матрицу нечетких расстояний длины 1 (матрицу смежности), имеющую вид

$$R_X = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} \infty & [1\tilde{1},1\tilde{2}] & \infty & [1\tilde{5},1\tilde{6}] & \infty \\ [1\tilde{3},1\tilde{4}] & \infty & [1\tilde{1},1\tilde{3}] & \infty & \infty \\ \infty & [1\tilde{1},1\tilde{3}] & \infty & [1\tilde{1},1\tilde{2}] & [1\tilde{2},1\tilde{3}] \\ [1\tilde{5},1\tilde{6}] & \infty & [1\tilde{1},1\tilde{2}] & \infty & [1\tilde{4},1\tilde{5}] \\ \infty & \infty & [1\tilde{2},1\tilde{3}] & [1\tilde{4},1\tilde{5}] & \infty \end{pmatrix} \end{array}.$$

Для нахождения матрицы интервальной достижимости графа, воспользуемся методом возведения в степень матрицы нечетких расстояний, приведенным в работе [12]. В результате получим матрицу достижимости $N_X = R_X^0 \cap R_X^1 \cap R_X^2 \cap R_X^3 \cap R_X^4$:

$$N_X = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} \{[0,0]\} & \{[1\tilde{1},1\tilde{2}]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{5}]\} & \{[1\tilde{5},1\tilde{6}]\} & \{[2\tilde{9},3\tilde{1}]\} \\ \{[1\tilde{3},1\tilde{4}]\} & \{[0,0]\} & \{[1\tilde{1},1\tilde{3}]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{5}]\} & \{[2\tilde{3},2\tilde{6}]\} \\ \{[2\tilde{4},2\tilde{7}]\} & \{[1\tilde{1},1\tilde{3}]\} & \{[0,0]\} & \{[1\tilde{1},1\tilde{2}]\} & \{[1\tilde{2},1\tilde{3}]\} \\ \{[1\tilde{5},1\tilde{6}]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{5}]\} & \{[1\tilde{1},1\tilde{2}]\} & \{[0,0]\} & \{[1\tilde{5},1\tilde{5}]\} \\ \{[2\tilde{9},3\tilde{1}]\} & \{[2\tilde{3},2\tilde{6}]\} & \{[1\tilde{2},1\tilde{3}]\} & \{[1\tilde{4},1\tilde{5}]\} & \{[0,0]\} \end{pmatrix} \end{array}.$$

По полученной матрице достижимости определим симметричную матрицу нечетких интервальных расстояний:

$$D_X = N_X + N_X^T = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} \{[0,0]\} & \{[2\tilde{3},2\tilde{5}]\} & \{[4\tilde{6},5\tilde{2}]\} & \{[3\tilde{0},3\tilde{2}]\} & \{[5\tilde{8},6\tilde{2}]\} \\ \{[2\tilde{3},2\tilde{5}]\} & \{[0,0]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{6}]\} & \{[4\tilde{4},5\tilde{0}]\} & \{[4\tilde{6},5\tilde{2}]\} \\ \{[4\tilde{6},5\tilde{2}]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{6}]\} & \{[0,0]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{4}]\} & \{[2\tilde{4},2\tilde{6}]\} \\ \{[3\tilde{0},3\tilde{2}]\} & \{[4\tilde{4},5\tilde{0}]\} & \{[2\tilde{2},2\tilde{4}]\} & \{[0,0]\} & \{[2\tilde{9},3\tilde{0}]\} \\ \{[2\tilde{8},6\tilde{2}]\} & \{[4\tilde{6},5\tilde{2}]\} & \{[2\tilde{4},2\tilde{6}]\} & \{[2\tilde{9},3\tilde{0}]\} & \{[0,0]\} \end{pmatrix} \end{array}.$$

По полученной матрице достижимости составим выражение

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{B}} = {} & \{Q(0;0)p_1 \vee Q(23;25)p_2 \vee Q(46;52)p_3 \vee Q(30;32)p_4 \vee Q(58;62)p_5\}\,\& \\ & \&\{Q(23;25)p_1 \vee Q(0;0)p_2 \vee Q(22;26)p_3 \vee Q(44;50)p_4 \vee Q(46;52)p_5\}\,\& \\ & \&\{Q(46;52)p_1 \vee Q(22;26)p_2 \vee Q(0;0)p_3 \vee Q(22;24)p_4 \vee Q(24;26)p_5\}\,\& \\ & \&\{Q(30;32)p_1 \vee Q(44;50)p_2 \vee Q(22;24)p_3 \vee Q(0;0)p_4 \vee Q(29;30)p_5\}\,\& \\ & \&\{Q(58;62)p_1 \vee Q(46;52)p_2 \vee Q(24;26)p_3 \vee Q(29;30)p_4 \vee Q(0;0)p_5\}. \end{aligned}$$

Приведя подобные члены, используя нечеткого поглощения (4) и (5), окончательно получаем:

$\Phi_{\text{B}} = Q(58;62)p_1 \vee Q(46;52)p_2 \vee Q(46;52)p_3 \vee Q(44;50)p_4 \vee Q(58;62)p_5 \vee Q(44;50)p_2p_5 \vee Q(24;26)p_1p_3 \vee Q(29;30)p_1p_4 \vee Q(29;30)p_1p_5 \vee Q(24;26)p_2p_3 \vee Q(29;30)p_2p_4 \vee Q(29;30)p_2p_5 \vee Q(24;26)p_1p_3 \vee Q(30;32)p_3p_4 \vee Q(24;26)p_1p_2p_3 \vee Q(30;32)p_1p_2p_5 \vee Q(23;25)p_1p_3p_5 \vee Q(23;25)p_1p_4p_5 \vee Q(23;25)p_2p_3p_5 \vee Q(23;25)p_2p_4p_5 \vee Q(22;26)p_1p_2p_5 \vee Q(22;24)p_1p_2p_3p_5 \vee Q(22;24)p_1p_2p_4p_5 \vee Q(22;26)p_1p_2p_3p_5 \vee Q(24;26)p_1p_2p_3p_4 \vee Q(0;0)p_1p_2p_3p_4p_5$.

Таким образом, нечеткое множество сильной связности нечеткого интервального графа имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{\Lambda} = \{ & <[4\tilde{4};5\tilde{0}]/1>; <[2\tilde{4};2\tilde{6}]/2>; <\{[2\tilde{3};2\tilde{5}],[2\tilde{2};2\tilde{6}]\}/3>; \\ & <\{[2\tilde{2},2\tilde{4}],[2\tilde{0},2\tilde{6}]\}/4>, <[0;0]/5>\}. \end{aligned}$$

Нечеткое множество сильной связности определяет, в частности, следующее оптимальное распределение сервисных центров: если мы имеем 5 сервисных центров, то размещаем их в каждой вершине. В этом случае никаких затрат на достижение остальных вершин не потребуется (расстояние равно 0). Если имеется три центра, то их можно разместить в вершинах, например, x_1, x_3, x_5 с минимальным расстоянием, находящемся в нечетком интервале $[2\tilde{3};2\tilde{5}]$. Или, например, в вершинах x_1, x_2, x_5 с минимальным расстоянием, находящемся в нечетком интервале $[2\tilde{2};2\tilde{6}]$. Если имеется только один сервисный центр, то его нужно разместить в районе x_4, и тогда минимальное расстояние находится в нечетком интервале $[4\tilde{4};5\tilde{0}]$.

Заключение. Рассмотренный метод позволяет решать актуальные задачи нахождения центров обслуживания. Однако необходимо отметить, что данный подход позволяет определять наилучшие места распределения сервисных центров в случае их размещения в вершинах графа, а не на ребрах с генерацией новых вершин. Кроме того, большой интерес вызывает актуальная задача свертки несоизмеримых интервалов, что позволило бы упростить процесс вычислений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Clarke K.* Analytical and Computer Cartography. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1995.
2. *Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D.* Geographic Information Systems and Science. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

3. *Zhang J., Goodchild M.* Uncertainty in Geographical Information. New York: Taylor & Francis, Inc., 2002.
4. *Goodchild M.* Modelling Error in Objects and Fields. In: Goodchild, M.F., Gopal, S. (eds.): Accuracy of Spatial Databases. Basingstoke: Taylor & Francis, Inc. – 1989. – P. 107-113.
5. *Кофман А.* Введение в прикладную комбинаторику. – М.: Наука, 1975.
6. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978.
7. *Malczewski J.* GIS and Multicriteria Decision Analysis. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
8. *Zadeh L.* The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. Inf. Sci. 8, 9, 1975.
9. *Берштейн Л.С., Боженюк А.В.* Нечеткие графы и гиперграфы. – М.: Научный мир, 2005.
10. *Боженюк А.В., Розенберг И.Н., Ястребинская Д.Н.* Нахождение живучести нечетких транспортных сетей с применением геоинформационных систем. – М.: Научный мир, 2012. – 176 с.
11. *Hansen E.* Global Optimization Using Interval Analysis. – New York: Dekker, 1992.
12. *Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Розенберг И.Н.* Моделирование поиска сервисных центров в ГИС нечеткими интервальными графами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 7-16.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

Боженюк Александр Витальевич – Научно-технический центр «Информационные технологии» федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: avb002@yandex.ru; 347922, г. Таганрог, Октябрьская пл., 4; тел.: 89198799621; д.т.н.; профессор.

Беляков Станислав Леонидович – тел.: 88634611086; д.т.н.; профессор.

Розенберг Игорь Наумович – ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС); e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 109029, г. Москва, ул. Нижегородская, 27, стр. 1; тел.: 84959677701; зам. генерального директора; д.т.н.

Bozhenyuk Alexander Vitalievich – Scientific and Technical Center «Information Technologies» of Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: avb002@yandex.ru; 4, Oktyabrskaya Square, Taganrog, 347922, Russia; phone: +79198799621; dr. of eng. sc.; professor.

Belyakov Stanislav Leonidovich – phone: +7863611086; dr. of eng. sc.; professor.

Rozenberg Igor Naymovich – Public corporation "Research and development institute of railway engineers"; e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 27/1, Nizhegorodskaya, Moscow, 109029, Russia; phone: +74959677701; deputy director; dr. of eng. sc.

УДК 681.142

А.М. Белевцев, М.А. Дружинин

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ТРЕЙДЕРСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ФОНДОВОЙ БИРЖЕ

Развитие биржевой торговли и ее глобализация приводят к интенсивному развитию информационных технологий и их применению в биржевых операциях. Для выполнения успешных трейдерских операций необходимо в очень сжатые сроки принимать решения на основании множества различных факторов. Существующая проблема сводится к оптимизационной задаче большой размерности с нелинейной целевой функцией и нелинейными ограничениями. Генетические алгоритмы оптимизации имеют полный набор инструментов