

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE AND MANAGEMENT



УДК 681.31

DOI 10.12737/11586

Бионический поиск решения задач транспортного типа на основе стратегии адаптации*

Ю. О. Чернышев¹, А. Ю. Полуйан², П. А. Панасенко³, Д. Ю. Паскевич^{4**}

^{1,3}Филиал Военной академии связи, г. Краснодар, Российская Федерация

^{2,4}Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Bionic search for transportation problem solution on the basis of adaptation strategy***

Y. O. Chernyshev¹, A. Y. Poluyan², P. A. Panasenko³, D. Y. Paskevich^{4**}

^{1,3}Branch of Military Academy of Communication, Krasnodar, Russian Federation

^{2,4}Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Разработка методов и алгоритмов для решения задачи трассировки осуществляется на протяжении многих лет, но по-прежнему является актуальной. Это связано, в первую очередь, с тем, что эта задача является NP-полной, и разработать универсальный алгоритм, позволяющий находить точное оптимальное решение за приемлемое время, затруднительно.

В связи с этим, с целью снижения временной сложности алгоритма (ВСА), актуальным является разработка последовательных и параллельных бионических алгоритмов для решения задач транспортного типа на основе эволюционных стратегий. Бионические алгоритмы (БА) доказали свою эффективность при решении трудоемких задач оптимизации, аппроксимации, интеллектуальной обработки данных. К преимуществам можно отнести возможность выполнения эволюционного и генетического поиска, а также то, что БА состоит в параллельной генерации наборов квазиоптимальных альтернативных решений с возможной «миграцией» решений между этими наборами.

Для моделирования бионического поиска предложены схемы, отличающиеся от известных структурой построения и учетом вариации параметров. В работе приведен процесс преобразования размера популяции при переходе из одной итерации в другую в процессе работы бионического алгоритма. Проведенные исследования разработанных бионических алгоритмов решения задач транспортного типа показали преимущество по качеству решений в сравнении с известными методами. Разработанные алгоритмы позволяют получать набор квазиоптимальных альтернативных результатов с полиномиальной временной сложностью.

Ключевые слова: транспортная задача, методы, адаптация, эффективность, бионический поиск, генетический оператор, алгоритм.

The development of methods and algorithms for solving a routing problem is being implemented over the years, but it is still a topical problem. This is, primarily, due to the fact that this problem is NP-complete, and to develop a universal algorithm for finding an exact optimal solution during a reasonable time is difficult. In this regard, in order to reduce the algorithm time complexity (ATC), the development of sequential and parallel bionic algorithms for solving the transportation problems based on the evolutionary strategies is prospective. The bionic algorithms (BA) have proved their efficiency at the solution of the time-consuming tasks of optimization, approximation, and intellectual data processing. Benefits include the possibility to perform the genetic and evolutionary search, as well as the fact that BA consist in parallel generation of the quasioptimal alternative decision sets with possible "migration" of decisions between these sets. Schemes that differ from the known ones in the outlining structure and recording the parameter variation are proposed for the bionic search simulation. The investigation of the developed bionic algorithms for solving transportation problems show the advantage in the solution quality compared to the known methods. The developed algorithms allow obtaining a set of alternative quasioptimal results with the polynomial time complexity. The transformation of the population size during the transition from one iteration to another in the process of the bionic algorithm operation is presented.

Keywords: transportation problem, methods, adaptation, efficiency, bionic search, genetic operator, algorithm

Введение. При решении задач об экстремальных путях эффективно используют стратегии, концепции, методы и механизмы эволюционного моделирования на основе различных стратегий адаптации. Основные цели адаптации связаны с экстремальными требованиями, предъявляемыми к объекту адаптации в виде максимизации эффективности его функционирования.

Бионический поиск доказал свою эффективность при решении трудоемких задач оптимизации, аппроксимации и интеллектуальной обработки данных. К преимуществам бионического поиска относятся

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 15-01-05129).

**E-mail:orfiki@rambler.ru, vasandev@mail.ru, marked_one2007@mail.ru

***The research is done with the financial support from RFFI (Grant no. 15-01-05129).

адаптивность, способность к обучению, параллелизм, возможность построения гибридных систем на основе комбинирования.

Основная часть. Задачи об экстремальном пути представляют собой актуальное направление исследований в области информационных технологий, теории и практики систем искусственного интеллекта, теоретических основ информатики. Применение классических методов и алгоритмов решения данных задач с экспоненциальной временной сложностью становится неэффективным из-за сложности преодоления локальных оптимумов, большой размерности задачи, помимо того, эвристические методы, большей частью, не адаптированы к параллельным вычислительным системам [1–3].

Одним из направлений, позволяющим решить вышеуказанные задачи является разработка алгоритмов последовательного и параллельного бионического поиска, базирующегося на методах эволюционного моделирования [4, 5].

При решении задач об экстремальном пути использован эволюционно-оптимизационный подход к моделированию алгоритмов бионического поиска (БП) [6]. Необходимым условием эффективной работы БП является автоматизированная адаптивная настройка алгоритмов [7, 8]. В качестве начальной популяции используется не одно, а несколько альтернативных решений, причем исходные решения могут быть получены на основе детерминированных алгоритмов. Взаимодействие БП и детерминированных алгоритмов позволяет проводить адаптацию наборов параметров и фокусировать наилучшее решение.

При выполнении бионического поиска нахождения экстремального пути, предлагается выполнить микро-, макро- и метаэволюции [9]. При этом, используя метаэволюцию, создается не одна, а некоторое множество популяций. Поиск решений осуществляется путем объединения хромосом в различных популяциях. На эффективность БП в смысле повышения скорости сходимости алгоритма и процента нахождения глобального или близкого к нему решения влияют методы кодирования потенциальных решений и выбранные параметры популяции.

На рис. 1 представлена модифицированная базисная структура оптимизационного процесса, основанная на принципах бионического поиска для решений задач об экстремальных путях. Предназначение блока адаптации состоит в настройке и изменении порядка использования и применения различных генетических операторов и схем поиска [10]. В блоке MOP (модифицированный оператор рекомбинации), предложена адаптивная стратегия работы оператора. Пути выполнения рекомбинации разбиты на два этапа: исследование влияния изменения размера популяции на характеристики бионического поиска и разработка стратегии адаптации размера популяции на основе результатов, полученных на первом этапе.

В результате решения задачи первого этапа, на основании экспериментальных данных сформулирована следующая стратегия адаптации размера популяции: «Если значение целевой функции в текущей популяции хуже или остается неизменным, как и в предыдущей популяции, то есть отсутствует прогресс, то размер популяции необходимо увеличить. В случае, если значение целевой функции в популяции улучшается, то размер популяции следует уменьшить».

Предложена следующая реализация общей стратегии адаптации размера популяции с использованием последовательности решета Эратосфена, позволяющая адаптироваться к характеристикам бионического поиска:

$$N(t+1) = N(t) + (N(t) - KI) * z(t) / q_N, \quad z(t) = \begin{cases} 1, & F(t) \geq F(t+1) \\ -1, & F(t) < F(t+1) \end{cases}, \quad q_N(t) = \begin{cases} u_k, & q(t) = q(t-1) \\ u_1, & q(t) \neq q(t-1) \end{cases},$$

$$KI = \left(1 - p \left(x_t^k \right) * R_p \right)$$

где KI — количество элитных особей; R_p — размер популяции; $N(t)$ — размер популяции в поколении t ; u_k — k -й член последовательности решета Эратосфена [11]; $q(t)$ — направление изменения (увеличение или уменьшение) размера популяции в поколении t ; $F(t)$ — значение целевой функции в популяции; k — количество поколений, в течение которых направление q изменения размера популяции остается постоянным.

При дальнейшей реализации алгоритма лучшие и отобранные элементы из родителей и потомков будут выбираться для формирования новой популяции [12].

Определяющими эволюцию, служат модифицированные операторы мутации, реализующиеся под действием естественного отбора, на основе методов «двойного решета» и дихотомии [13, 14]. Предложенные модифицированные генетические операторы, ориентированные на создание алгоритмов бионического поиска, для решения задач об экстремальных путях, увеличивают вероятность «выживания» альтернативных решений с лучшим значением ЦФ на 10%–15%.

Блок адаптации предназначен для выбора и реализации различных стратегий и механизмов адаптации. Еще одно предназначение данного блока состоит в настройке и изменении порядка использования и применения различных генетических операторов и схем поиска. Результаты работы блока адаптации оказывают непосредственное влияние на процесс перестройки текущей популяции альтернативных решений и создания, на ее основе, новой популяции. По сравнению с классической схемой бионического поиска, в предлагаемом бионическом алгоритме

добавлен блок анализа неперспективных решений (сортировки и сохранение особей в файл). Данный блок собирает и анализирует решения, получаемые в процессе выполнения алгоритма.

Каждому решению (индивиду) в результате проведенного анализа присваивается определённый ранг (перспективное, неперспективное, тривиальное и др.). При этом принимаются во внимание задаваемые на входе алгоритма ограничения области поиска. Проводимое, в рассматриваемом блоке, ранжирование текущей популяции альтернативных решений позволяет повысить эффективность бионического поиска за счет большей структурированности множества альтернативных решений, и дает возможность динамического регулирования направления поиска. Для накопления статистики работы алгоритма о развитии популяции предусмотрен механизм сохранения в файл перспективных и неперспективных особей [15]. Эта информация может быть использована при повторном решении задачи для изменения её параметров или алгоритма, что и выполняется в блоке анализа полученных решений

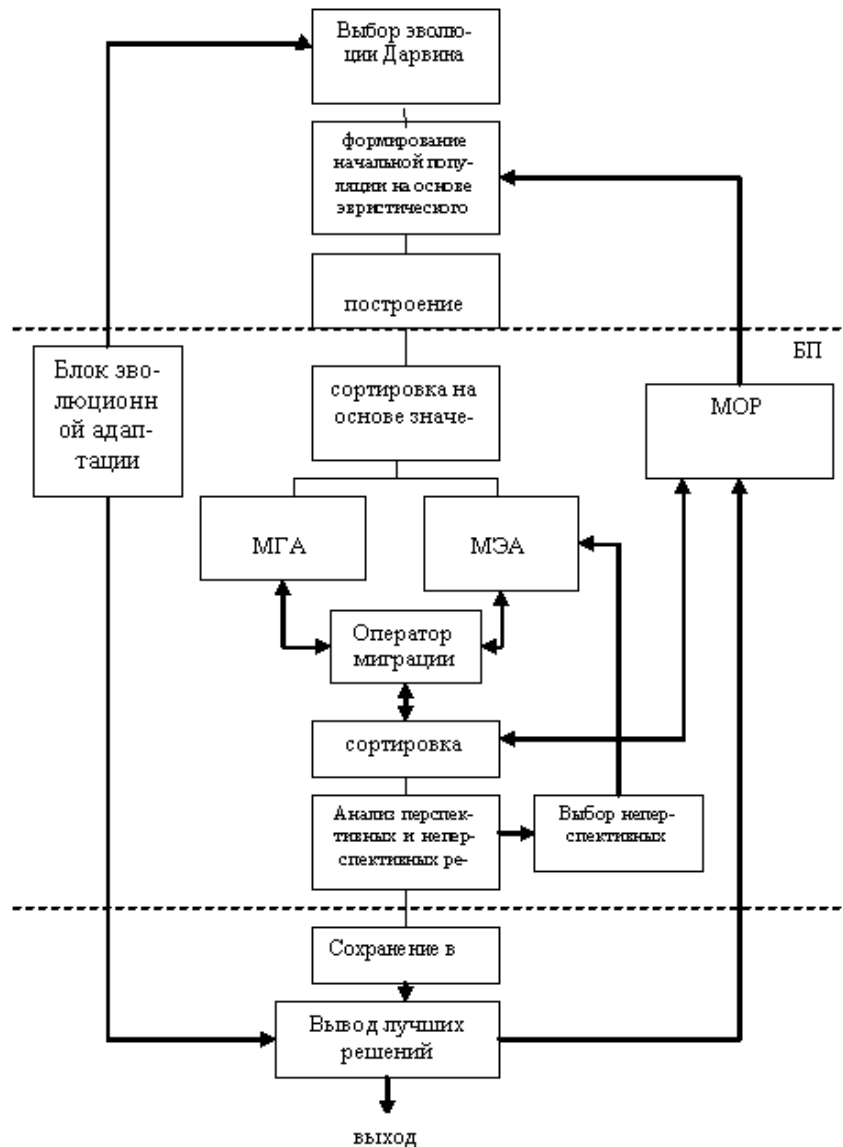


Рис. 1. Модифицированная базисная структура оптимизационного процесса

Для минимизации времени работы параллельного бионического алгоритма, необходимо определить оптимальное количество мигрирующих хромосом. Предлагается использовать формулу отбора необходимой численности выборки хромосом для обмена элементами среди подпопуляций:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2},$$

где n — количество хромосом для обмена; Δ — предельная ошибка выборки; σ — среднеквадратичное отклонение; t — коэффициент, определяемый по таблице Лапласа, $\Phi(t)=p$, где p — заданная вероятность, определяемая ЛПР [16].

Заключение. Преимущество разработанной модифицированной базисной структуры оптимизационного процесса состоит в том, что все строительные блоки связаны с блоком адаптации. На основе построенного бионического поиска разработан комплекс программ, реализующий предложенные бионические алгоритмы для решения задач об экстремальном пути. Данный алгоритм позволяет улучшить качество получаемых решений (для рассмотренных тестовых примеров достигается улучшение точности вычисления целевой функции на 20% по сравнению с алгоритмами Дейкстры и Белмана) и сократить время работы (на 15% по сравнению с теми же алгоритмами). Такие результаты достигаются за счет внедрения системы управления процессом поиска квазиоптимальных решений, а также с помощью настройки и варьирования параметров предлагаемых алгоритмов, применения параллельных вычислений и механизма синхронизации полученных решений на всех этапах поиска. Предложенные алгоритмы позволяют сократить область поиска допустимых решений на 15%–20% и получить оптимальные результаты за приемлемое время.

Библиографический список

1. Полуян, А. Ю. Параллельный бионический поиск для решения задач оптимизации / А. Ю. Полуян // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды : межвуз. сб. науч. тр. — Ростов на-Дону, 2009. — С. 53–54.
2. Luger, G. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, [Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving] Fourth Edition Addison-Wesley Publishing Company, 2002. — P. 928.
3. Полуян, А. Ю. Эволюционный подход к решению задач о нахождении кратчайшего пути в графе / А. Ю. Полуян // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Йошкар-Ола, 2008. — Т. 2. — С. 143–147.
4. Курейчик, В. М. Совместные методы квантового и бионического поиска / В. М. Курейчик // IEEE AIS'04, CAD-2004 : труды конф. — Москва, 2004. — С. 12–19.
5. Курейчик, В. М. Бионический метод определения путей оптимальной длины в графовых моделях / В. М. Курейчик, М. Н. Мищенко // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. трудов III-го междунар. научно-практ. семинара. — Москва, 2005. — С. 261–266.
6. Курейчик, В. М. Поисковая адаптация: теория и практика / В. М. Курейчик, Б. К. Лебедев, О. Б. Лебедев. — Москва : Физматлит, 2006. — 272 с.
7. Курейчик, В. М. Адаптация в задачах проектирования топологии / В. М. Курейчик, Б. К. Лебедев, О. Б. Лебедев // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2010 : сб. науч. трудов. — Москва, 2010. — С. 170–177.
8. Емельянов, В. В. Модели искусственной жизни в оптимизационных задачах / В. В. Емельянов, В. П. Афонин // Интеллектуальные системы (AIS'04). Интеллектуальные САПР (CAD'-2004) : сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. — Москва, 2004. — С. 39–47.
9. Курейчик, В. М. Адаптация на основе самообучения / В. М. Курейчик, Б. К. Лебедев, О. Б. Лебедев, Ю. О. Чернышев. — Ростов-на-Дону : изд-во РГАСХМ, 2004. — 142 с.
10. Рейнгольд, Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. — Москва : Мир, 1980. — 476 с.
11. Цой, Ю. Р. К выбору размера популяции / Ю. Р. Цой, В. Г. Спицын // Интеллектуальные системы (IEE AIS'04). Интеллектуальные САПР (CAD-2004): тр. междунар. науч.-техн. конф. — Москва, 2004. — С. 90–96.
12. Развитие теории эволюционного моделирования на основе генетических методов поисковой адаптации при решении оптимальных задач проектирования, сверхбольших интегральных схем (СБИС) : отчет о НИР / РГАСХМ; рук. Чернышев Ю. О.; исп. Басова А. В., Венцов Н. Н., Полуян А. Ю. — Ростов-на-Дону, 2009. — 119 с.
13. Чернышев, Ю. О. Решение задач транспортного типа генетическими алгоритмами / Ю. О. Чернышев, А. В. Басова, А. Ю. Полуян. — Ростов-на-Дону : изд-во ЮФУ, 2008. — 73 с.
14. Чернышев, Ю. О. Эволюционный подход к решению задачи о назначении через определение кратчайшего пути / Ю. О. Чернышев, П. Г. Белявский, А. Ю. Полуян // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2008. — № 9. — С. 18–24.

15. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Ш. Кремер. — Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. — 565 с.
16. Полуян, А. Ю. Адаптивный генетический алгоритм для решения задачи оптимизации на основе стратегии элитизма / А. Ю. Полуян // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2008. — № 9. — С. 36–39.
17. Holland, John H. Adaptation in natural and artificial systems. [Adaptation in natural and artificial systems] The MIT Press edition, Massachusetts, London, England, 1992, 210 p.
18. Курейчик, В. М. Биоинспирированные методы в оптимизации / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик, П. В. Сороколетов. — Москва : Физматлит, 2009. — 384 с.
19. Kling, R.M. Placement by Simulated Evolution [Placement by Simulated Evolution], IEEE Trans. on CAD, 1989. — Vol.8, no.3., P. 245–255.

References

1. Poluyan, A.Y. Parallelnyy bionicheskiy poisk dlya resheniya zadach optimizatsii [Parallel bionic search for solving optimization problems.] Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Okhrana truda i okruzhayushchey sredy: mezhvuz. sb. nauch. tr. [Life Safety. Labour and environmental protection: interuniversity coll. of sci.papers.] Rostov-on-Don, 2009, pp. 53–54 (in Russian).
2. Luger, G. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. Fourth Edition. Addison-Wesley Publishing Company, 2002, p.928
3. Poluyan, A.Y. Evolyutsionnyy podkhod k resheniyu zadach o nakhozhenii krachayshego puti v grafe. [Evolutionary approach to the problem of finding the shortest path in the graph.] Informatsionnye tekhnologii v professional'noy deyatel'nosti i nauchnoy rabote : sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. [Information technologies in professional activities and research: Proc. Sci.-Pract. Conf. with int. participation.] Yoshkar-Ola, 2008, vol. 2, pp. 143–147 (in Russian).
4. Kureychik, V.M. Sovmestnye metody kvantovogo i bionicheskogo poiska. [Shared methods of quantum and bionic search.] IEEE AIS'04, CAD-2004: Proc. Conf. Moscow, 2004, pp. 12–19 (in Russian).
5. Kureychik, V.M., Mishchenko, M.N. Bionicheskiy metod opredeleniya putey optimal'noy dliny v grafovyykh modelyakh. [Bionic method for determining optimum length paths in graph models.] Integrirovannye modeli i myagkie vychisleniya v iskusstvennom intellekte : sb. trudov III-go mezhdunar. nauchno-prakt. seminar. [Integrated models and soft computing in Artificial Intelligence: Proc.III Int.Sci.-Pract. Seminar.] Moscow, 2005, pp. 261–266 (in Russian).
6. Kureychik, V.M., Lebedev, B.K., Lebedev, O.B. Poiskovaya adaptatsiya: teoriya i praktika. [Search adaptation theory and practice.] Moscow: Fizmatlit, 2006, 272 p. (in Russian).
7. Kureychik, V.M., Lebedev, B.K., Lebedev, O.B. Adaptatsiya v zadachakh proektirovaniya topologii. [Adaption in the problems of layout design.] Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem – 2010: sb. nauch. trudov. [Problems of development of advanced micro- and nanoelectronic systems - 2010: Coll. Sci. Papers.] Moscow, 2010, pp. 170-177 (in Russian).
8. Yemelyanov, V.V., Afonin, V.P. Modeli iskusstvennoy zhizni v optimizatsionnykh zadachakh. [Models of artificial life in optimization problems.] Intellektual'nye sistemy (AIS'04). Intellektual'nye SAPR (CAD'-2004): sb. trudov mezhdunar. nauch.- tekhn. konf. [Intelligent Systems (AIS'04). Intelligent CAD (CAD'-2004): Proc. Int.Sci.-Tech. Conf.] Moscow, 2004, pp. 39–47 (in Russian).
9. Kureychik, V.M., Lebedev, B.K., Lebedev, O.B., Chernyshev, Y.O. Adaptatsiya na osnove samoobucheniya. [Adaptation on the basis of self-learning.] Rostov-on-Don: izd-vo RGASKhM, 2004, 142 p. (in Russian).
10. Rejngold, E., Nivergelt, J., Deo, N. Kombinatornye algoritmy. Teoriya i praktika. [Combinatorial algorithms. Theory and practice.] Moscow: Mir, 1980, 476 p. (in Russian).
11. Tsoy, Y.R., Spitsyn, V.G. K vyboru razmera populyatsii. [On the choice of the population size.] Intellektual'nye sistemy (IEE AIS'04). Intellektual'nye SAPR (CAD-2004): tr. mezhdunar. nauch.- tekhn. konf. [Intelligent Systems (IEE AIS'04). Intelligent CAD (CAD-2004): Proc. Int. Sci.-Tech. Conf.] Moscow, 2004, pp. 90–96 (in Russian).
12. Chernyshev, Y.O., Basova, A.V., Ventsov, N.N., Poluyan, A.Y. Razvitie teorii evolyutsionnogo modelirovaniya na osnove geneticheskikh metodov poiskovoy adaptatsii pri reshenii optimal'nykh zadach proektirovaniya, sverkhbo'shikh integral'nykh skhem (SBIS): otchet o NIR, RGASKhM. [Development of the theory of evolution simulation based on genetic

search adaptation methods for solving optimum design problems, very large scale integration (VLSI): research report, RGASKhM.] Rostov-on-Don, 2009, 119 p. (in Russian).

13. Chernyshev, Y.O., Basova, A.V., Poluyan, A.Y. Reshenie zadach transportnogo tipa geneticheskimi algoritmami. [Solution of transport-type genetic algorithms.] Rostov-on-Don: izd-vo YuFU, 2008, 73 p. (in Russian).

14. Chernyshev, Y.O., Belyavskiy, P.G., Poluyan, A.Y. Evolyutsionnyy podkhod k resheniyu zadachi o naznachenii cherez opredelenie krachayshego puti. [Evolution approach to the solution of the problem about setting through the shortest path determination.] Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2008, no. 9, pp. 18–24 (in Russian).

15. Kremer, N.Sh. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. [Probability theory and mathematical statistics.] Moscow: YuNITI-DANA, 2004, 565 p. (in Russian).

16. Poluyan, A.Y. Adaptivnyy geneticheskiy algoritm dlya resheniya zadachi optimizatsii na osnove strategii elitizma. [Adaptive algorithm for the decision of the problems of optimization on the basis of strategy of elitism.] Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2008, no. 9, pp. 36–39 (in Russian).

17. Holland, John H. Adaptation in natural and artificial systems. The MIT Press edition, Massachusetts, London, England, 1992, 210 p.

18. Kureychik, V.M., Gladkov, L.A., Kureychik, V.V., Sorokoletov, P.V. Bioinspirirovannye metody v optimizatsii. [Bioinspired methods in optimization.] Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p. (in Russian).

19. Kling, R.M., Banerjee, P. Placement by Simulated Evolution. IEEE Trans. on CAD, 1989, vol.8, no.3 pp. 245–255.

Поступила в редакцию 03.12.2014

Сдана в редакцию 04.12.2014

Запланирована в номер 10.04.2015