

17. Gladkov L.A., Gladkova N.V. Osobennosti ispol'zovaniya nechetkikh geneticheskikh algoritmov dlya resheniya zadach optimizatsii i upravleniya [Features of use of fuzzy genetic algorithms for the decision of problems of optimisation and control], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 130-136.
18. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Osnovy teorii evolyutsionnykh vychisleniy: monografiya [Fundamentals of the theory of evolutionary computing: monograph]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2010.
19. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N. Manufacturing Scheduling Problem Based on Fuzzy Genetic Algorithm, *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014). Kiev, Ukraine, September 26 – 29, 2014*, pp. 209-213.
20. Gladkov L.A., Leiba S.N., Gladkova N.V., Legebokov A.A. Parallel Genetic Algorithm Based on Fuzzy Logic Controller for Design Problems, *Advances in Intelligent Systems and Computing. Proceedings of the 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOC 2016), Vol. 1: Artificial Intelligence Perspectives in Intelligent Systems.* – Springer International Publishing, Switzerland, 2016, pp. 147-157.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор Л.С. Лисицына.

Гладков Леонид Анатольевич – Южный федеральный университет; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра САПР; доцент.

Гладкова Надежда Викторовна – тел.: 88634393260; кафедра ДМ и МО; старший преподаватель.

Gladkov Leonid Anatol'evich – Southern Federal University; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: 88634371625; the department of CAD; associate professor.

Gladkova Nadezhda Viktorovna – phone: +78634393260; the department of DM&MO; senior teacher.

УДК 004.896

В.В. Курейчик, А.Е. Глущенко, А.Н. Орлов

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ 3-Х МЕРНОЙ УПАКОВКИ*

Работа связана с решением одной из важных оптимизационных задач – задачей трехмерной упаковки разногабаритных элементов в объеме. Задача трехмерной упаковки разногабаритных элементов является NP-сложной и NP-трудной. В статье описывается гибридный подход к решению данной задачи. Приведена постановка и ограничения задачи трехмерной упаковки. Предложен модифицированный гибридный поиск, использующий многоуровневую эволюцию и позволяющий частично решать проблему предварительной сходимости алгоритмов. Принципиальным отличием предложенного подхода является разделение процесса поиска на два этапа и применение на каждом из этих этапов различных алгоритмов. На первом этапе поиска реализуется генетический алгоритм, позволяющий производить первоначальную эффективную перестановку блоков. На втором этапе поиска реализуется быстрый эволюционный алгоритм, позволяющий улучшить предыдущие решения. Такой гибридный подход, позволяет получать наборы квазиоптимальных решений, за полиномиальное время. Описан пример работы гибридного алгоритма решения задачи трехмерной упаковки блоков в объеме. Разработан программный комплекс и реализованы на ЭВМ алгоритмы автоматизированной трехмерной упаковки на основе гибридного поиска. Проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах (бенчмарках). Качество упаковки, полученной, на основе гибридного подхода, в среднем на 2,17 % превосходит результаты упаковки, полученные с использованием известных алгоритмов

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-01-00586).

Ngoi et al., Bishoff и др., Gehring и др., что говорит об эффективности предложенного подхода. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов упаковки. В лучшем случае временная сложность алгоритмов $O(n^2)$, в худшем случае – $O(n^3)$.

Трехмерная упаковка; упаковка в контейнеры; гибридный подход; генетический алгоритм; генетические операторы; эволюционный алгоритм.

V.V. Kureichik, A.E. Glushchenko, A.N. Orlov

HYBRID APPROACH FOR THREE-DIMENSIONAL PACKAGING PROBLEM

The article deals with one of the most important optimization problems – the problem of three-dimensional packaging (3DP) of various sized elements. It belongs to the class of NP-hard and complex problems. A hybrid approach for solving 3DP problem were developed. The formulation and restrictions of the 3DPP are considered in the article. Hybrid approach that uses a multi-level evolution and partially allows to avoid a preliminary convergence of algorithms. Genetic and evolutionary algorithms which obtain sets of quasi-optimal solutions in polynomial time were developed. Dividing of the search process in two stages and employment of different algorithms on stages is a conceptual difference of this approach. On the first stage of search is realized genetic algorithm, which allows to make initial block exchange. Evolutionary algorithm is used on the second stage of search, which allow to improve the previous solution. Developed approach allow to obtain sets of quasi-optimal solutions in polynomial time. Work of hybrid algorithm were showed on examples. To carry out computational experiments on test examples (benchmarks) the authors developed a software on the basis of hybrid approach for the 3DPP. Quality of packing obtained on the basis of the developed bioinspired approach is higher on average 2.17% than packing results obtained using known algorithms suggested by Ngoi et al., Bishoff et al., Gehring et al., which demonstrates the effectiveness of the proposed approach. Conducted tests and experiments allow possible to clarify the theoretical estimations of algorithm time complexity. In the best case algorithm the time complexity is represented as $O(n^2)$, in the worst case – $O(n^3)$.

Three-dimensional packaging; containers packaging; hybrid approach; genetic algorithm; genetic operators; evolutionary algorithm.

Введение. Трехмерная упаковка разногабаритных элементов – проблема, возникающая во многих областях промышленности, связана с решением таких задач, как оптимальное заполнение пустых объемов, загрузка трюмов кораблей, товарных вагонов поездов, поддонов, транспортных самолетов, управление складами готовой продукции и т.п. В современном мире в условиях развивающихся производственно-технологических процессах все большую актуальность приобретает доставка продукции и товаров в сферу обращения. Это такие операции как перемещение, перегрузка, складирование товаров, формирование транспортных партий и т.д. Все это приводит к необходимости построения, анализа и совершенствования транспортно-грузовых информационных процессов. А также к разработке новых методов поддержки и оптимизации информационных процессов в контейнерных терминалах [1, 2].

Все задачи связанные с поддержкой и оптимизацией информационных процессов в контейнерных терминалах являются NP-полными. Это означает, что даже при небольшом количестве грузов решение данной задачи не возможно за полиномиальное время, даже при использовании современных суперкомпьютеров. Другой проблемой, являются дополнительные ограничения, возникающие при размещении груза в заданном пространстве. Поэтому актуальной и важной задачей является разработка новых гибридных подходов, методов и алгоритмов, основанных на биоинспирированном поиске [3–8].

Постановка задачи упаковки. Дадим формальное описание задачи упаковки грузов в ограниченном трехмерном пространстве. Дана область трехмерного пространства шириной W , длиной L и высотой H , а также множество блоков

$A=\{a_i\}$ количеством N . Все множество блоков разбито на подмножество типов $T=\{t_j\}$. Каждый тип определяет заданные параметры каждого блока, такие как, длина, ширина, высота и вес, ориентация по умолчанию [1, 6, 9–11]. Необходимо множество блоков разместить в заданный объем. Выходными данными будет являться план упаковки блоков в объеме, значение целевой функции (ЦФ) и время решения задачи.

Каждый тип груза характеризуется кортежем длины 4 $\langle l_i, w_i, h_i, m_i \rangle$, где l_i, w_i, h_i – габаритные размеры элемента, m_i – вес блока. В ходе решения задачи положение элементов, обозначенное заданным типом, в пространстве задается множеством $S=\{s_i=\langle x_{1i}, y_{1i}, z_{1i} \rangle, \langle x_{2i}, y_{2i}, z_{2i} \rangle \mid i=1, 2, \dots, n\}$, где $\langle x_{1i}, y_{1i}, z_{1i} \rangle, \langle x_{2i}, y_{2i}, z_{2i} \rangle$ – координаты углов элемента – самого близкого к началу осей координат и самого удаленного соответственно. Так же имеется параллелепипед $M=\{L, W, H\}$, где L, W, H – габаритные размеры области упаковки.

Используя критерий V – это отношение объема упакованных блоков к объему параллелепипеда $V_{\text{кон}}$, требующийся для упаковки всех элементов, введем следующие ограничения [9, 12]:

- 1) высота всех блоков одинаковая;
- 2) ни один элемент не может выходить за границы заданного объема, т.е. удовлетворять системе неравенств:

$$\begin{cases} x_{1i} \geq 0; \\ y_{1i} \geq 0; \\ z_{1i} \geq 0; \\ x_{2i} \leq L_x; \\ y_{2i} \leq W_y; \\ z_{2i} \leq H_z. \end{cases}$$

- 3) суммарный объем элементов не должен превышать объема области упаковки:

$$\sum_{i=1}^n (l_i \cdot w_i \cdot h_i) \leq L_x \cdot W_y \cdot H_z.$$

- 4) отсутствие пересечений (т.е. в одну область пространства нельзя поместить два объекта):

$$\begin{aligned} & (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) \vee (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) \vee \\ & (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) \vee (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) \vee \\ & (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) \vee (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) \vee \\ & (x_{2i} \cdot x_{1j} \& y_{2i} \geq y_{1j} \ \& \ z_{2i} \geq z_{1j}) = 1 \forall i \leq n, j \leq (i \neq j). \end{aligned}$$

- 5) суммарный вес всех блоков не может превышать заданный лимит:

$$\sum G_{\text{бл}} \leq G_{\text{лим}},$$

где $G_{\text{бл}}$ – вес блока; $G_{\text{лим}}$ – максимальный вес всех блоков.

- 6) все элементы должны опираться своим основанием на поверхность;

- 7) элементы должны лежать перпендикулярно заданной области.

Критерием оптимизации является объем, занимаемый блоками. Целевая функция имеет вид:

$$F = \frac{\sum V_{\text{бл}}}{V_{\text{кон}}} \rightarrow 1,$$

где $V_{\text{бл}}$ – объем каждого блока, $V_{\text{кон}}$ – объем контейнера.

Это означает, что необходимо уменьшить пустоты в области упаковки. Максимально эффективный результат решения задачи, когда целевая функция равна 1, т.е. область упаковки заполнена на 100 %.

Гибридный подход к упаковке блоков. На рис. 1 представлена укрупненная схема алгоритма гибридного поиска на основе многоуровневого подхода [8, 13, 14]. Здесь реализована идея многоуровневой эволюции, когда процесс поиска оптимального решения заключается в использовании нескольких алгоритмов – случайно направленного поиска – генетического и эволюционного. Поиск решения обычно продолжается до тех пор, пока не будет выполнен хотя бы один из критериев остановки. В данной работе критерием остановки является достижение определенного качества решений либо превышение максимального установленного времени работы алгоритма. Рассмотрим предложенный гибридный подход, основанный на биоинспирированном поиске более подробно.

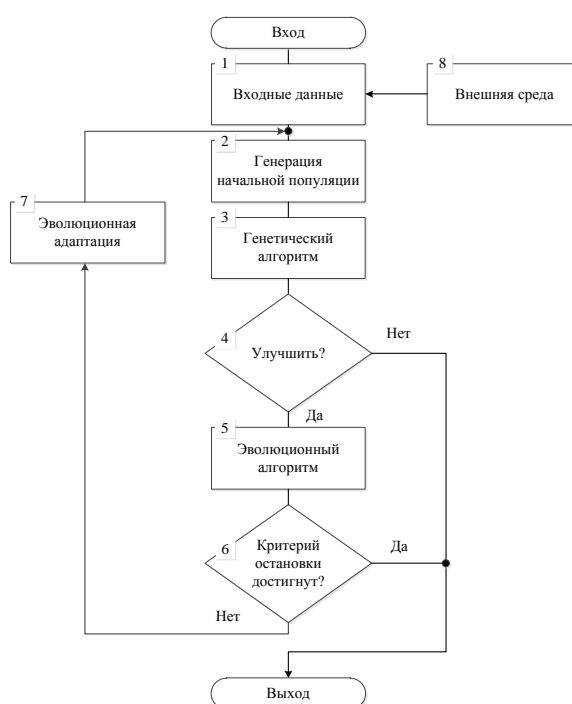


Рис. 1. Укрупненный алгоритм гибридного поиска

На первом этапе вводятся такие данные и параметры задачи, как: размер области упаковки, параметры блоков, количество блоков, вероятности применения операторов, размер популяции, число итераций, критерии остановки.

На блок «Входные данные» оказывает воздействие внешняя среда. В качестве внешней среды выступает лицо принимающее решение (ЛПР) – конструктор, оператор, который на основе личного опыта и статистических данных, заданных ограничений выбранной элементной базы принимает решение о значениях вводимых данных и параметров, которые управляют гибридным поиском, основанным на алгоритмах инспирированных природными системами. ЛПР вводит такие данные и параметры задачи, как: размер трехмерной области упаковки; параметры блоков; количество блоков; вероятности применения генетических операторов; размер популяции; число итераций; критерии остановки.

Затем в блоке «Генерация начальной популяции» создается множество альтернативных решений задачи упаковки. Создание начальной популяции происходит с помощью эвристики, которая основывается на последовательном алгоритме. После создания начальной популяции оценивается среднее значение ЦФ по всей популяции, а так же значение ЦФ каждого альтернативного решения.

Далее на первом уровне выполняется генетический алгоритм пока он не начнет сходиться. В генетическом алгоритме новые решения в популяции формируются путём реализации различных генетических операторов: кроссинговер, мутация и редукция [14–16].

Данный алгоритм имеет большую вычислительную сложность, однако гарантирует появления качественно новых решений, обладающих общими признаками, что позволяет реализовывать эффективный поиск внутри определенной области. Затем из наилучших решений создается новая популяция как объект второго уровня для реализации быстрого эволюционного поиска.

В эволюционном алгоритме новые решения, из полученных на этапе работы ГА, формируются путем реализации только одного оператора мутации [8, 15–17]. После применения эволюционного алгоритма идет проверка на завершение работы по критерию превышения максимально допустимого времени работы алгоритма. Если получено принципиально новое качественное решение, и критерий остановки достигнут, то сохраняется наилучший результат. В противном случае применяется эволюционная адаптация. Блок эволюционной адаптации предназначен для настройки процесса поиска. Процесс поиска решений продолжается итерационно до тех пор, пока не будут выполнены критерий остановки.

Критерии остановки гибридного поиска происходит с выполнением следующих условий:

$$\Delta > \Delta Z,$$

где Δ – переменная, которая определяет сходимость значений ЦФ, ΔZ – задается ЛПР.

$$t_{\text{вып}} < T_{\text{max}},$$

где $t_{\text{вып}}$ – время, которое уже затрачено на выполнение алгоритма, T_{max} – максимально допустимое время решения алгоритма.

Отметим, что при получении эффективных решений после реализации генетического алгоритма процесс поиска может быть окончен.

Рассмотрим пример работы предложенного подхода для трехмерной упаковки блоков. На рис. 2 представлена начальная упаковка с плотностью размещения 58 %.

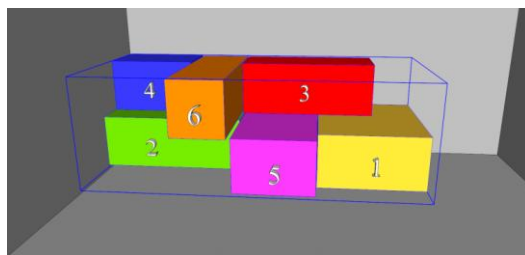


Рис. 2. Пример начального размещения 6 блоков

После реализации генетического алгоритма было получено следующее размещение, представленное на рис. 3 с плотностью размещения 62 %.

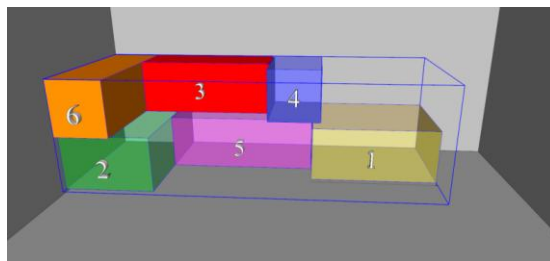


Рис. 3. Пример работы генетического алгоритма

Окончательная упаковка блоков представлена на рис. 4. В результате работы гибридного подхода плотность упаковки увеличилась до 65 %.

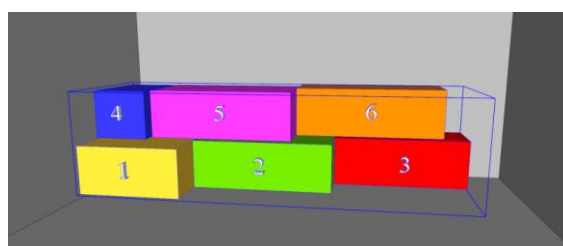


Рис. 4. Окончательная упаковка блоков

Применение предложенного гибридного алгоритма позволяет получать эффективные решения за полиномиальное время и за счет применения двухуровневого подхода частично решать проблему предварительной сходимости алгоритмов, а также рассматривать более перспективные и удалять заранее неперспективные решения.

Экспериментальные исследования. Для подтверждения эффективности гибридного подхода была разработана программная среда решения задачи трехмерной упаковки. При построении комплекса программ использовались пакеты Visual C++, Borland C++, Builder. Отладка и тестирование разработанных алгоритмов выполнялось на компьютере типа IBM PC с процессором core i5 с ОЗУ-6Гб. Проведен вычислительный эксперимент. Были проведены исследования времени и качества решения для разного набора тестовых примеров (бенчмарок), различающихся количеством блоков [18–20]. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1 и на рис. 5.

Таблица 1

Сравнение гибридного алгоритма с аналогами

Количество блоков	Ngoi et al.	Bishoff и др.	Gehring и др.	Разработанный ГП
шт.	%	%	%	%
100	61,8	63,2	61,9	62,8
200	68,7	66,8	67,6	70,2
300	74,7	73,7	75,8	77,7
400	80,5	84,2	83,3	85,2
500	89,2	88,7	90,2	91,8
Среднее значение	75,02	75,32	75,76	77,54

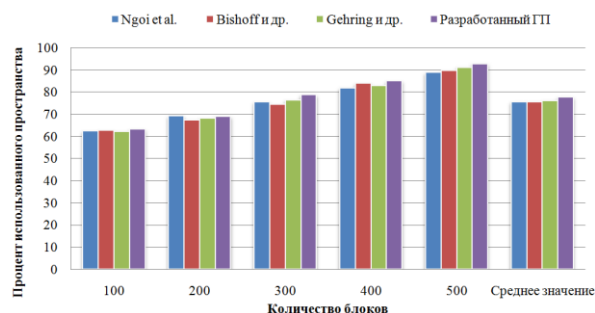


Рис. 5. Дюграмма сравнения эффективности упаковки блоков тестовых схем различными алгоритмами

Из анализа таблицы и дюграммы видно, что качество упаковки, полученное, на основе разработанных алгоритмов, в среднем на 2,17 % превосходит результаты упаковки, полученные с использованием известных алгоритмов Ngoietal., Bishoff и др., Gehring и др., что говорит об эффективности предложенного подхода.

Проведенные экспериментальные расчеты, показали, что гибридный алгоритм позволяет получать наборы локально-оптимальных решений за полиномиальное время.

Заключение. Разработан гибридный подход для решения задачи трехмерной упаковки. Отличительной особенностью данного подхода является использование многоуровневой эволюции, когда на разных уровнях применяются различные алгоритмы. На первом уровне классический генетический алгоритм с использованием различных генетических операторов, а на втором – быстрый эволюционный поиск. Такой подход позволяет получать наборы оптимальных и квазиоптимальных решений за полиномиальное время и частично решать проблему предварительной сходимости алгоритмов. Разработана программная среда на языке C++. Проведен вычислительный эксперимент. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов. В лучшем случае временная сложность алгоритмов $O(n^2)$, в худшем случае – $O(n^3)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.
2. Луцан М.В., Нужнов Е.В. Решение задачи трехмерной упаковки с палетированием контейнеров // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 196-204.
3. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В. Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
4. Бова В.В., Курейчик В.В. Интегрированная подсистема гибридного и комбинированного поиска в задачах проектирования и управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 37-42.
5. Курейчик В.В., Бова В.В., Курейчик Вл.Вл. Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 2 (5). – С. 90-94.
6. Курейчик В.М., Курейчик Л.В. Комплексный метод упаковки блоков // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2015. – № 1 (21). – С. 17-26.
7. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Биоинспирированный поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 178-183.
8. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. – М.: Физматлит, 2012. – 260 с.
9. Гладков Л.А., Гладкова Н.В., Скубриева Е.С. Решение задачи трехмерной упаковки разногабаритных объектов с использованием бионических методов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 35-41.

10. Курейчик В.В., Заруба Д.В., Запорожец Д.Ю. Применение генетического алгоритма решения задачи трехмерной упаковки // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 8-14.
11. Курейчик В.В., Глуценко А.Е. Эвристический подход для решения задачи 3-х мерной упаковки // I Всероссийская научно-техническая конференция "Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности". – 2015. – С. 399-401.
12. Нужнов Е.В., Барлит А.В. Трехмерная упаковка несвязных элементов на основе эвристических процедур. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 23 с.
13. Kasprzyk, J., Kureichik, V.M., Malioukov, S.P., Kureichik, V.V., Malioukov, A.S. General Questions of automated design and engineering // Studies in Computational Intelligence, 212, 2009. – P. 1-22.
14. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.
15. Koide S., Suzuki S., Degawa S. A Palletize-Planning System for Multiple Kinds of Loads using GA Search and Traditional Search // Intelligent Robots and Systems 95. 'Human Robot Interaction and Cooperative Robots', Proceedings. – IEEE. –1995. – Vol. 3. – P. 510-515.
16. Gehring H., Bortfeldt A. A genetic algorithm for solving the container loading problem // International Transactions in Operational Research. – 1997. – Vol. 4, Issue 5–6. – P. 401-418.
17. Chan F.T.S., Kumar N., Wong T.C. Three-Dimensional Air-Cargo Loading Problem: An Evolutionary Algorithm Based Approach // Proceedings of the 7th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. – 2006. – P. 758-765.
18. Chauny F. A Bloc Heuristic for the Container Loading Problem // Grouped'études et de recherche enalyse des decisions, Montréal. – 2005. – P. 1–18.
19. Kasprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. Experimental investigation of algorithms developed (2009). Studies in Computational Intelligence, 212. – P. 211-223+227-236.
20. Жуков Л.А., Корчевская О.В. Метод плоскостей: численный эксперимент для задач двух и трехмерной ортогональной упаковки // Информационные технологии. – 2008. – № 11. – С. 41-45.

REFERENCES

1. Emel'yanov V.V., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya [Theory and practice of evolutionary modeling]. Moscow: Fizmatlit, 2003, 432 p.
2. Lutsan M.V., Nuzhnov E.V. Reshenie zadachi trekhmernoy upakovki s paletirovaniem konteynerov [Solving three-dimension packing problem with palletizing], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 196-204.
3. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
4. Bova V.V., Kureychik V.V. Integrirovannaya podsystema gibridnogo i kombinirovannogo poiska v zadachakh proektirovaniya i upravleniya [Integrated subsystem hybrid and combined search in problems of design and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 12 (113), pp. 37-42.
5. Kureychik V.V., Bova V.V., Kureychik V.V. Kombinirovannyy poisk pri proektirovanii [Combined search in the design], *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational Resources and Technology], 2014, No. 2 (5), pp. 90-94.
6. Kureychik V.M., Kureychik L.V. Kompleksnyy metod upakovki blokov [Integrated packing method units], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Information, Computing and Engineering Education], 2015, No. 1 (21), pp. 17-26.
7. Kureychik V.V., Kureychik V.V. Bioinspirirovannyy poisk pri proektirovanii i upravlenii [Search inspired by natural systems, for the design and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 178-183.
8. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy [The theory of evolutionary computing]. Moscow: Fizmatlit, 2012, 260 p.
9. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Skubrieva E.S. Reshenie zadachi trekhmernoy upakovki raznogabaritnykh ob'ektov s ispol'zovaniem bionicheskikh metodov [The decision of the 3d-packing problem differently dimensional objects with use bionic methods], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (144), pp. 35-41.

10. Kureychik V.V., Zaruba D.V., Zaporozhets D.Yu. Primenenie geneticheskogo algoritma resheniya zadachi trekhmernoy upakovki [Application of genetic algorithm to three-dimensional packaging problem], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 8-14.
11. Kureychik V.V., Glushchenko A.E. Evristicheskiy podkhod dlya resheniya zadachi 3-khmernoy Upakovki [Heuristic approach to solve the problem of 3-dimensional packaging], *I Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiya i informatsionnoy bezopasnosti"* [I all-Russian scientific-technical conference "fundamental and applied aspects of computer technology and information security"], 2015, pp. 399-401.
12. Nuzhnov E.V., Barlit A.V. Trekhmernaya upakovka nesvyaznykh elementov na osnove evristicheskikh protsedur [Three-dimensional packing of disjoint cells based on heuristic procedures]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2002, 23 p.
13. Kacprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. General Questions of automated design and engineering, *Studies in Computational Intelligence*, 212, 2009, pp. 1-22.
14. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 368 p.
15. Koide S., Suzuki S., Degawa S. A Palletize-Planning System for Multiple Kinds of Loads using GA Search and Traditional Search, *Intelligent Robots and Systems 95. 'Human Robot Interaction and Cooperative Robots', Proceedings*. IEEE, 1995, Vol. 3, pp. 510-515.
16. Gehring H., Bortfeldt A. A genetic algorithm for solving the container loading problem, *International Transactions in Operational Research*, 1997, Vol. 4, Issue 5–6, pp. 401-418.
17. Chan F.T.S., Kumar N., Wong T.C. Three-Dimensional Air-Cargo Loading Problem: An Evolutionary Algorithm Based Approach, *Proceedings of the 7th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*, 2006, pp. 758-765.
18. Chauny F. A Bloc Heuristic for the Container Loading Problem, *Grouped'études et de recherche en analyse des decisions, Montréal*, 2005, pp. 1-18.
19. Kacprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. Experimental investigation of algorithms developed (2009), *Studies in Computational Intelligence*, 212, pp. 211-223+227-236.
20. Zhukov L.A., Korchevskaya O.V. Metod ploskostey: chislennyy eksperiment dlya zadach dvukh i trekhmernoy ortogonal'noy upakovki [The method of planes: numerical experiment for tasks two and three-dimensional orthogonal packing problems], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology], 2008, No. 11, pp. 41-45.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Курейчик Владимир Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: vkur@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Орлов Антон Николаевич – e-mail: ky92@mail.ru; 347924, г. Таганрог, ул. Воскова, 111/а, кв. 2; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

Глушченко Александр Евгеньевич – e-mail: alex-14-93@mail.ru; 347939, г. Таганрог, ул. Сызранова, 10, кв. 97; тел.: 89612941882; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

Kureichik Vladimir Victorovich – Southern Federal University; e-mail: vkur@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Orlov Anton Nikolaevich – e-mail: ky92@mail.ru; 111/a, Voskova street, ap. 2, Taganrog 347924, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; postgraduate student.

Glushchenko Alexander Evgenyevich – e-mail: alex-14-93@mail.ru; 10, Syzranova street, ap. 97, Taganrog, 347939, Russia; phone: +79612941882; the department of computer aided design; postgraduate student.