

## Раздел I. Эволюционное моделирование

УДК 004.896

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

### КОМБИНИРОВАННЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСКРОЯ\*

*Работа связана с решением одной из важных оптимизационных задач этапа автоматизированного проектирования – задачи раскроя листового материала. Она состоит из двух оптимизационных подзадач, задачи двухмерной упаковки геометрических фигур и задачи нахождения оптимального пути реза. Каждая из этих подзадач относится к классу NP-сложных и трудных проблем дискретной оптимизации. В статье описывается комбинированный подход к решению данной оптимизационной задачи на основе методов генетического поиска. Приведена постановка и ограничения задачи раскроя листового материала. Предложена новая архитектура поиска, основанная на комбинированном подходе, использующая многоуровневую эволюцию и позволяющая частично решить проблему предварительной сходимости алгоритмов. Разработаны модифицированные генетические алгоритмы упаковки и нахождения оптимального пути реза, позволяющие получать наборы квазиоптимальных решений, за полиномиальное время. Для эффективной работы генетических алгоритмов в статье описан механизм создания начальной популяции альтернативных решений. Предложена новая процедура кодирования – декодирования, позволяющая получать только «реальные» решения оптимизационной задачи раскроя листового материала. Разработан программный комплекс и проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах (бенчмарках). Качество раскроя материала, полученного, на основе комбинированного поиска, в среднем на 2 % превосходит результаты, полученные с использованием известных алгоритмов Cutter, Техтран и AJANCAM, что говорит об эффективности предложенного подхода. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов раскроя материала. В лучшем случае временная сложность алгоритмов  $O(n^2)$ , в худшем случае –  $O(n^3)$ .*

*Раскрой материала; двухмерная упаковка; нахождение минимального пути; комбинированный подход; генетический алгоритм; генетические операторы; эволюционный алгоритм.*

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

### COMBINED GENETIC ALGORITHM FOR A CUTTING PROBLEM

*The article deals with one of the most important optimization problems – the cutting stock and packaging (C&P) problem. This problem consists two subproblem, such as two-dimensional packaging and minimization of tool head way. Each of this problems belongs to the class of NP-hard and complex problems. In the article authors offered combined approach for solving this optimization problem based on genetic methods of search. The formulation and restrictions of the C&P problem are considered in the article. Authors offer a combined approach with using multi-level evolution, which partially allows to avoid a preliminary convergence of algorithms. The modified genetic algorithm (MGA) of packaging and the modified genetic algorithm minimization of tool head way is developed, which obtain sets of quasi-optimal solutions in polynomial time.*

---

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00242) в Южном федеральном университете.

*For effective work of genetic algorithms in the article describes process of creation initial population of alternative solutions. Authors offered new coding-decoding algorithm, which allows to receive only the "real" solutions of the optimization problem of cutting stock problem. To carry out computational experiments on test examples (benchmarks) authors developed a software on the basis of hybrid approach for the C&P problem. Quality of the C&P problem obtained on the basis of the developed hybrid approach is higher on average 2 % than packing results obtained using known algorithms suggested by AJANCAM, Cutter, TEHTRAN, which demonstrates the effectiveness of the proposed approach. Conducted tests and experiments allow possible to clarify theoretical estimations of algorithm time complexity. In the best case algorithms the time complexity is represented as  $O(n^2)$ , in the worst case –  $O(n^3)$ .*

*Cutting stock problem; two-dimensional packaging problem; finding of minimum way; combined approach; genetic algorithm; genetic operators; evolutionary algorithm.*

**Введение.** В настоящее время среди множества задач автоматизированного проектирования, ключевую позицию занимают задачи, связанные с раскроем и упаковкой в заданных областях объектов различного вида и имеющих различную физическую природу. Задача раскроя-упаковки относится к проблеме оптимизационного геометрического моделирования [1].

Задача раскроя-упаковки имеет широкое применение не только в конструкторском проектировании, но и в производстве. Эта задача решается при раскрое материала, размещении элементов на печатной плате, планировании кристалла, штамповки заготовок и т.п. в любой отрасли промышленности имеет важное практическое значение. Как разместить элементы на печатной плате, чтобы расход сырья был минимальным? Постановка такого рода вопросов является не случайной, поскольку уменьшение промышленных отходов приводит к снижению себестоимости продукции и, следовательно, к увеличению прибыли [2]. А использование в качестве сырья дорогостоящих материалов предъявляет все более жесткие требования к качеству и методам решения задачи раскроя-упаковки.

От качества решения данной задачи зависит эффективность использования материала при раскрое, продуктивность использования высокопроизводительного раскройного оборудования, а так же время проектирования. Существует множество различных алгоритмов и методов раскроя-упаковки с учётом разнообразных критериев оптимизации [3].

Так как задача раскроя упаковки относится к классу NP-трудных, сложных проблем оптимизации, то необходима разработка эвристических методов, позволяющих получать квазиоптимальные решения за полиномиальное время [4]. Поэтому актуальной и важной задачей является разработка новых подходов, методов и алгоритмов, основанных на биоинспирированном поиске [5].

**Постановка задачи раскроя материала.** Оптимизационную задачу раскроя можно сформулировать следующим образом. Дана область раскроя (поле)  $M = \{m_x, m_y\}$ , где  $m_x$  и  $m_y$  задают границы области раскроя. Дано множество двумерных геометрических фигур  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  количеством  $N$ . Фигуры задаются множеством точек и представляют собой односвязные области, ограниченные замкнутой кривой (граничными контурами) [6].

Расположение каждого элемента  $A_i$  в области раскроя определяется следующими параметрами:  $x_{\text{mini}}, y_{\text{mini}}, \varphi_i$ , где  $x_{\text{mini}}$  – проекция самой левой точки фигуры в некоторой системе координат;  $y_{\text{mini}}$  – проекция самой нижней точки в некоторой системе координат;  $\varphi_i$  – параметр, задающий ориентацию (угол поворота) объекта на плоскости [7].

Задача раскроя материала формулируется так: необходимо выбрать некоторое количество геометрических объектов и уложить их на поверхность поля  $M$ , добиваясь уменьшения свободного пространства поля [8]. При этом размещение должно удовлетворять следующим ограничениям:

- ♦ суммарная площадь элементов не должна превышать площадь поля для их размещения:

$$\sum_{i=1}^n S_i \leq S_{\text{общ}}, \quad (1)$$

где  $S_i$  – площадь  $i$ -го объекта расположенного на поверхности поля (суммарная площадь занятой части),  $S_{\text{общ}}$  – общая площадь поля;

- ♦ элементы не должны накладываться друг на друга:

$$f_{ij}(x_i, y_i, \varphi_i, x_j, y_j, \varphi_j, \dots, x_n, y_n, \varphi_n) \geq 0 \quad i \neq j; \quad i, j=1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

- ♦ элементы не должны выходить за границы поля:

$$\begin{cases} x_{\min i} \geq 0; \\ y_{\min i} \geq 0; \\ x_{\min i} \leq m_x; \\ y_{\min i} \leq m_y. \end{cases} \quad (3)$$

В качестве критерия оптимизации будем использовать коэффициент использования материала (КИМ) или коэффициент раскроя [9]. Так как потери материала необходимо минимизировать, соответственно КИМ необходимо максимизировать. Коэффициент раскроя материала –  $k$  вычисляется по следующей формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

где  $S_i$  – площадь  $i$ -го объекта расположенного на поверхности поля (суммарная площадь занятой части),  $S_{\text{общ}}$  – общая площадь поля.

Так как задача может содержать большую область раскроя и малое количества элементов [10], или же в процессе раскроя использовано множество листов и на последний лист было размещено малое количество элементов, следует вначале выделить деловой отход.

Деловой отход – отход который может быть использован в будущем в качестве раскраиваемой области и при подсчёте КИМ, он будет вычтен из  $S_{\text{общ}}$ . Деловым отходом является наибольшая прямоугольная площадь свободного листа [11].

Для качественного расчета коэффициента использования материала, необходимо рассчитать его теоретическое значение. В большинстве случаев достижение КИМ=1 является невозможным, поэтому приближение в результате решения задачи к целевой функции равной «1» является эффективным [12]. В связи с этим в статье предлагается эвристический комбинированный подход к решению задачи раскроя материала.

**Комбинированный подход к раскрою материала.** При решении конструкторских задач САПР, в том числе задачи раскроя-упаковки, комбинированный поиск даст преимущественно новые по показателям эффективности и качества решения [13].

Основной трудностью при решении любой оптимизационной задачи с большим числом локальных оптимумов, в том числе и задачи раскроя-упаковки, является предварительная сходимостью алгоритмов [14].

Последние исследования в области САПР показывают, что в связи с обработкой больших объемов данных необходимо использовать эвристические комбинированные методы основанные на предварительных знаниях о решаемых задачах [15].

В данной работе предлагается комбинированная архитектура раскроя материала на основе модифицированного генетического алгоритма, представленная на рис. 1.

Первым этапом поиска является ввод параметров, необходимых для работы генетического алгоритмов, такие как: количество областей раскроя, параметры областей раскроя, количество раскраиваемых элементов, параметры элементов [16]. В качестве воздействий со стороны внешней среды используются действия ЛПР–инженер, оператор задающий значения вводимых данных и параметров.



Рис. 1. Укрупнённая архитектура комбинированного поиска

Далее направленным способом (на основе эвристики) генерируется начальное множество альтернативных решений задачи раскроя-упаковки, которое является основой для работы модифицированных генетических алгоритмов [17]. Данная эвристика представляет собой последовательный алгоритм размещения элементов. На первом шаге рассчитывается площадь каждой фигуры. Затем формируется список, в котором все заданные элементы сортируются по убыванию площади. Первым элементом в списке будет элемент с наибольшей площадью. На следующем шаге этот элемент помещается в левый верхний угол поля. Второй элемент выбирается из приоритетного списка альтернативных решений на основе алгоритма [18], представленного на рис. 2. Процесс продолжается до тех пор, пока возможно заполнение данной области поля. Если дальнейшее размещение элементов невозможно, в соответствии с ограничениями, то данная часть поля отсекается и в дальнейшем рассмотрение не берётся. Полученное решение является первой хромосомой для начальной популяции [5, 14, 19]. Путем изменения только углов поворота каждого элемента осуществляется создание начальной популяции. Поскольку для  $N$  элементов имеем  $k$ -углов поворота, то размер популяции будет равен  $k^N$ . Это приводит к разнообразию генетического материала.

На следующем этапе выполняется реализация генетического поиска. В генетическом алгоритме новые решения в популяции формируются на основе выполнения различных модифицированных генетических операторов, таких как кроссинговер, мутация, редукция [3, 5, 14]. Данный алгоритм позволяет наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время [20].

Отметим, что блок адаптации отвечает за подбор и расчет параметров работы генетического алгоритма. Например, с помощью него рассчитываются вероятности применения различных операторов на стадии генетического алгоритма.

В данном алгоритме критерием останова служит заданное количество итераций. Если критерий останова достигнут, осуществляется сохранение лучшего результата.

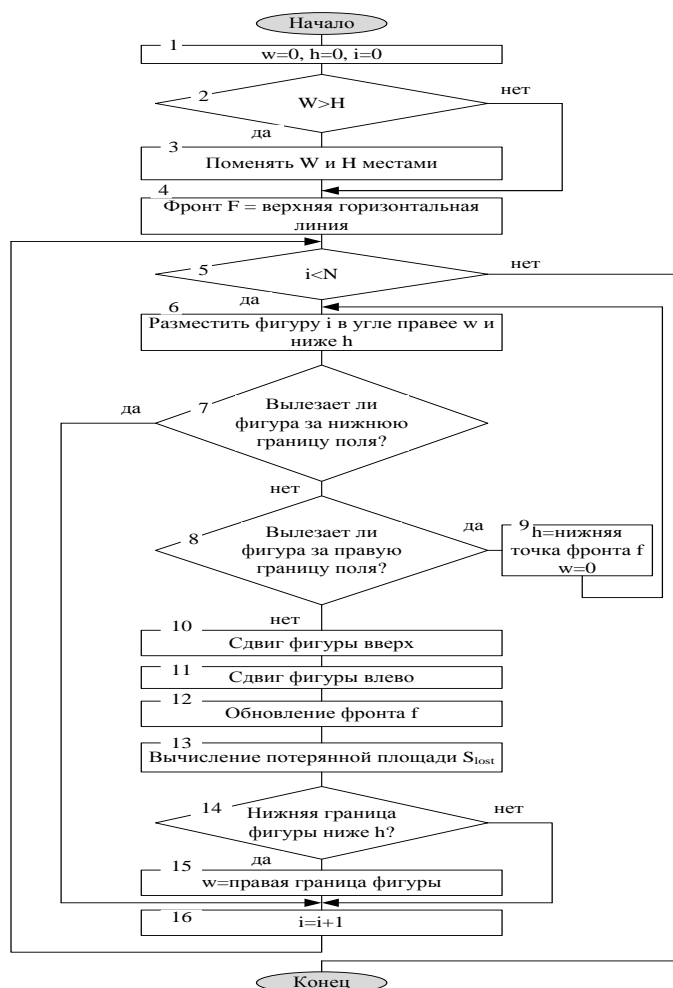


Рис. 2. Алгоритм декодирования альтернативных решений

Применение такой стратегии поиска имеет следующие преимущества: позволяют быстрее и эффективнее находить оптимальные решения, работают не с одним решением, а с множеством альтернативных решений, присутствует возможность рассматривать более перспективные и удалять заранее неперспективные решения и не требуют знания о предоставлении дополнительной информации.

**Вычислительный эксперимент.** Для реализации разработанных алгоритмов была разработана программа в среде Embarcadero RAD Studio на языке C++ для 64 разрядной операционной системы Windows 7, которая позволяет пользователю решать задачу раскроя материала. Отладка и тестирование разработанных алгоритмов выполнялось на компьютере типа IBM PC с процессором IntelCore i5-3570 CPU с ОЗУ-8Гб. Проведен вычислительный эксперимент.

Для определения эффективности разработанного комбинированного подхода были проведены исследования времени и качества решения для разного набора тестовых примеров (бенчмарков), различающихся количеством блоков. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

## Сравнение комбинированного алгоритма с аналогами

Количество элементов	Комбинированный поиск	AJANCAM	Техтран	Cutter
эл.	%	%	%	%
100	84	83	84	82
200	87	85	86	83
300	86	82	85	81
400	84	83	84	82
500	88	85	88	83
Среднее значение	85,8	83,6	85,4	82,2

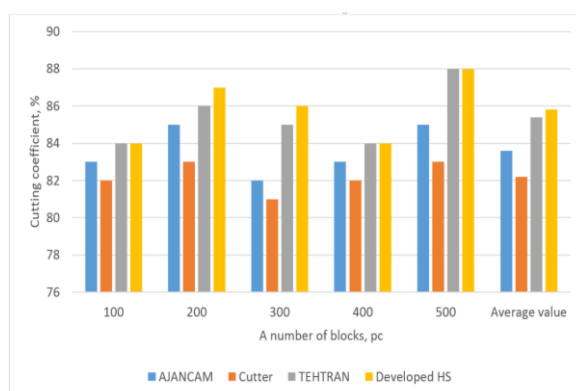


Рис. 3. Гистограмма сравнения эффективности раскроя элементов тестовых схем различными алгоритмами

Качество упаковки, полученное, на основе разработанного комбинированного подхода, в среднем на 2 % превосходит результаты раскроя, полученные с использованием известных программ AJANCAM, Cutter и Техтран что говорит об эффективности предложенного подхода. Проведенные экспериментальные расчеты показали, что комбинированный подход позволяет получать набор локально-оптимальных решений за полиномиальное время и в общем случае решать проблему предварительной сходимости.

**Заключение.** Разработан комбинированный подход для решения задачи раскроя материала. Отличительной особенностью данного подхода является использование модифицированных генетических алгоритмов, а так же разработанная процедура кодирования-декодирования. 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. Sherwani N.A. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013.
2. Фроловский В.Д. Оптимальное группирование геометрических объектов при проектировании карт раскроя материалов // Программные продукты и системы. – 2000. – № 3. – С. 47-48.

3. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.
4. *Курейчик В.В., Бова В.В., Курейчик Вл.Вл.* Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 2 (5). – С. 90-94.
5. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В.* Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
6. *Курейчик В.М., Курейчик Л.В.* Комплексный метод упаковки блоков // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2015. – № 1 (21). – С. 17-26.
7. *Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В.* Модели и методы расчета раскроя – упаковки геометрических объектов. – Уфа: УГАТУ, 1998. – 216 с.
8. *Петунин А.А., Полево А.В., Куреннов Д.В.* Об одном подходе к решению задач раскроя-упаковки // Конструирование и технология изготовления машин: Сборник научных трудов. – Ч. 2. Вестник УГТУ – УПИ. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ. – 2005. – No. 18 (70). – С. 212-216.
9. *Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.
10. *Орлов А.Н., Курейчик В.В., Кудрякова Т.Ю.* Генетический алгоритм прямоугольной упаковки // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'15». – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – Т. 3. – С. 207-212.
11. *Орлов А.Н., Курейчик В.В., Кудрякова Т.Ю.* Комбинированный алгоритм решения задачи прямоугольного раскроя // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'15». Научное издание в 3-х т. Т. 3. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 212-217.
12. *Орлов А.Н., Кудрякова Т.Ю.* Комбинированный модифицированный генетический алгоритм решения задачи раскроя материала // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности: Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов. – 2015. – С. 417-419.
13. *Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В.* Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. – ФГУП Нижегородский государственный университет им Н.И. Лобачевского, 2007.
14. *Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл.* Биоинспирированный поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 178-183.
15. *Muhlenbein H.* Parallel Genetic Algorithms, Population Genetics and Combinatorial Optimization // Proc. of the Third International Conference on Genetic Algorithms. SanMateo. MorganKaufmann, 1989. – 576 p.
16. *Подлазова А.В.* Генетические алгоритмы на примерах решения задач раскроя // Проблемы управления. – 2008. – № 2. – С. 58-63.
17. *Falkenauer E.A.* Genetic Algorithm for Bin Packing and Time Balancing // In: Proc. Of the IEEE 1992 International Conference on Robotics and Automation (RA92), Nice, 1992.
18. *Орлов А.Н., Курейчик В.В.* Механизм кодирования-декодирования при решении задачи прямоугольного раскроя-упаковки материала // Сборник научных статей Всероссийской молодежной школы семинара «Актуальные проблемы информационных технологий, электроники и радиотехники - 2015». – Таганрог: Изд-во НОЦ ЗИС КТ ЮФУ, 2015. – С. 420-428.
19. *Kuliev E.V., Dukhardt A.N., Kureychik V.V., Legebokov A.A.* Neighborhood Research Approach in Swarm Intelligence for Solving the Optimization Problems // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium – (EWDTS'2014) Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014. – P. 112-115.
20. *Garey M.R., Graham R.L., Johnson D.S., Yao A.C.* Resource constrained scheduling as generalized bin packing // J. Combinatorial Theory. – Ser. A21. – P. 257-298.

## REFERENCES

1. *Sherwani N.A.* Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013.
2. *Frolovskiy V.D.* Optimal'noe gruppирование geometricheskikh ob'ektov pri proektirovanii kart raskroya materialov [Optimal grouping of geometric objects saving under maps in the material cutting], *Programmnye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2000, No. 3, pp. 47-48.

3. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 368 p.
4. Kureychik V.V., Bova V.V., Kureychik V.I. Kombinirovannyi poisk pri proektirovanii [Combined search in the design], *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational Resources and Technology], 2014, No. 2 (5), pp. 90-94.
5. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannyye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
6. Kureychik V.M., Kureychik L.V. Kompleksnyy metod upakovki blokov [Integrated packing method units], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Computer science, computer engineering and engineering education], 2015, No. 1 (21), pp. 17-26.
7. Mukhacheva E.A., Verkhoturov M.A., Martynov V.V. Modeli i metody rascheta raskroya – upakovki geometricheskikh ob"ektov [Models and methods of calculation of cutting – packing of geometric objects]. Ufa: UGATU, 1998, 216 p.
8. Petunin A.A., Polevov A.V., Kurenov D.V. Ob odnom podkhode k resheniyu zadach raskroya-upakovki [About one approach to solving the problems of cutting-packaging], *Konstruirovaniye i tekhnologiya izgotovleniya mashin: Sbornik nauchnykh trudov* [Design and fabrication of machines: Collection of scientific works]. Part 2. Vestnik UGTU – UPI. Ekaterinburg: UGTU – UPI, 2005, No. 18 (70), pp. 212-216.
9. Emel'yanov V.V., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya [Theory and practice of evolutionary simulation]. Moscow: Fizmatlit, 2003, 432 p.
10. Orlov A.N., Kureychik V.V., Kudryakova T.Yu. Geneticheskiy algoritm pryamougol'noy upakovki [Genetic algorithm for rectangular packing], *Trudy Kongressa po intellektual'nykh sistemam i informatsionnykh tekhnologiyam «IS&IT'15»* [Proceedings of Congress on intelligent systems and information technologies "IS&IT'15"]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2015, Vol. 3, pp. 207-212.
11. Orlov A.N., Kureychik V.V., Kudryakova T.Yu. Kombinirovannyi algoritm resheniya zadachi pryamougol'nogo raskroya [A combined algorithm for solving the rectangular cutting], *Trudy Kongressa po intellektual'nykh sistemam i informatsionnykh tekhnologiyam «IS&IT'15»* [Proceedings of Congress on intelligent systems and information technologies "IS&IT'15"]. Scientific publication in 3 vol. Vol. 3. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2015, pp. 212-217.
12. Orlov A.N., Kudryakova T.Yu. Kombinirovannyi modifitsirovannyi geneticheskiy algoritm resheniya zadachi raskroya materiala [Combined modified genetic algorithm for solving the problem of nesting material], *Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiy i informatsionnoy bezopasnosti: Sbornik statey I Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Fundamental and applied aspects of computer technologies and information security: a Collection of articles I all-Russian scientific-technical conference of young scientists, postgraduates and students], 2015, pp. 417-419.
13. Batishchev D.I., Neymark E.A., Starostin N.V. Primenenie geneticheskikh algoritmov k resheniyu zadach diskretnoy optimizatsii [Application of genetic algorithms to the solution of problems of discrete optimization]. FGUP Nizhegorodskiy gosudarstvennyy universitet im. N.I. Lobachevskogo, 2007.
14. Kureychik V.V., Kureychik V.I. Bioinspirirovannyi 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.
15. Muhlenbein H. Parallel Genetic Algorithms, Population Genetics and Combinatorial Optimization, *Proc. of the Third International Conference on Genetic Algorithms*. SanMateo. MorganKauffmann, 1989 576 p.
16. Podlazova A.V. Geneticheskie algoritmy na primerakh resheniya zadach raskroya [Genetic algorithms on the examples of solving problems cutting], *Problemy upravleniya* [Problems of Management], 2008, No. 2, pp. 58-63.
17. Falkenauer E.A. Genetic Algorithm for Bin Packing and Time Balancing, *In: Proc. Of the IEEE 1992 International Conference on Robotics and Automation (RA92), Nice, 1992*.
18. Orlov A.N., Kureychik V.V. Mekhanizm kodirovaniya-dekodirovaniya pri reshenii zadachi pryamougol'nogo raskroya-upakovki materiala [The mechanism of encoding-decoding when solving tasks of the rectangular cutting-packaging material], *Sbornik nauchnykh statey Vserossiyskoy molodezhnoy shkoly seminar «Aktual'nye problemy informatsionnykh tekhnologiy, elektroniki i radiotekhniki - 2015»* [Collection of scientific articles of the all-Russian youth school-seminar "Actual problems of information technologies, electronics and radio engineering - 2015"]. Taganrog: Izd-vo NOTs ZIS KT YuFU, 2015, pp. 420-428.



19. Kuliev E.V., Dukkardt A.N., Kureychik V.V., Legebokov A.A. Neighborhood Research Approach in Swarm Intelligence for Solving the Optimization Problems, *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium – (EWDTS'2014) Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014*, pp. 112-115.
20. Garey M.R., Graham R.L., Johnson D.S., Yao A.C. Resource constrained scheduling as generalized bin packing, *J. Combinatorial Theory. Ser. A21*, pp. 257-298.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

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

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

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

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

**Kureichik Vladimir Victorovich** – 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.

**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.

УДК 004.896

**Д.В. Заруба, Д.Ю. Запорожец**

### **ГЕНЕРАЦИЯ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ ПОИСКОВЫХ ПРОЦЕДУР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ\***

*Рассматриваются проблемы использования принципов поведения объектов живой природы для решения NP-полных оптимизационных задач. В качестве наиболее перспективных рассматриваются методы и алгоритмы на основе роевого интеллекта. Для решения проблемы баланса между скоростью сходимости и широтой поиска применяются механизмы адаптации. Методы адаптации осуществляют закономерное изменение значений настроечных параметров алгоритмов таким образом, что обеспечивается последовательный переход от диверсификации на начальных этапах работы биоинспирированного алгоритма к интенсификации на заключительных итерациях. В статье предложена подсистема генерации новых гибридных алгоритмов на основе методов биоинспирированного поиска. Предложена архитектура подсистемы, включающая в себя блоки управления данными об алгоритме, решаемой задаче, а так же модуля автоматизации процесса генерации новых поисковых процедур. В статье предлагается новый оптимизационный подход, основанный на механизме гибридизации различных атомарных поисковых процедур. Данный модуль основан на механизмах генетического поиска и генетического программирования. Для обеспечения работоспособности модуля генерации новых решений автором построены новые механизмы кодирования и декодирования стандартизированного представ-*

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00242) в Южном федеральном университете.