

В.В. Курейчик, В.В. Бова, А.Ю. Халенков

МНОГОУРОВНЕВЫЙ ПОДХОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВУМЕРНОЙ УПАКОВКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР СЛОЖНЫХ ФОРМ

Рассмотрена одна из важных комбинаторных задач оптимизации – задача двумерной упаковки геометрических фигур сложных форм. Она относится к классу NP- сложных и трудных оптимизационных задач. В работе приведена и описана постановка задачи двумерной упаковки, введена комбинированная целевая функция, учитывающая все ограничения. В связи со сложностью данной задачи предлагается многоуровневый подход, заключающийся в разделении задачи двумерной упаковки на 4 подзадачи и решения каждой подзадачи последовательно в строгом порядке. При этом для каждой из подзадач определен уникальный набор объектов, не повторяющихся в остальных подзадачах. Для реализации многоуровневого подхода авторами разработан комбинированный биоинспирированный алгоритм, основанный методах генетического поиска и биоинспирированной оптимизации. Такой подход позволяет значительно сократить время получения результата, частично решить проблему предварительной сходимости алгоритмов и получить наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время. Разработан программный комплекс и реализованы на ЭВМ алгоритмы автоматизированной двумерной упаковки на основе комбинированного биоинспирированного алгоритма. Проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах (бенчмарках). Качество упаковки, полученное, на основе разработанного комбинированного биоинспирированного алгоритма, в среднем на 2 % превосходит результаты упаковки, полученные с использованием известных алгоритмов при сопоставимом времени решения, 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 - $O(n^3)$.

Двухмерная упаковка; упаковка в контейнеры; многоуровневый подход; комбинированный биоинспирированный алгоритм; генетический алгоритм.

V.V. Kureichik, V.V. Bova, A.Yu. Khalenkov

MULTILEVEL APPROACH TO TWO-DIMENSIONAL PACKING PROBLEM FOR GEOMETRIC FIGURES OF COMPLEX SHAPES

The paper considers one of the important combinatorial optimization problems, namely the two-dimensional packing problem for geometric figures of complex shapes. It belongs to the class of NP-complex and difficult optimization problems. In this paper, the formulation of the two-dimensional packing problem is given and described, and a combinatorial objective function that takes into account all constraints is introduced. Due to the complexity of this problem, a multilevel approach is proposed, which consists in dividing the two-dimensional packing problem into 4 subproblems and solving each subproblem sequentially in a strict order. At the same time, for each of the subtasks a unique set of objects that are not repeated in the other subtasks is defined. To implement the multilevel approach, the authors developed a combined bioinspired algorithm based on the methods of genetic search and bioinspired optimization. This approach allows to significantly reduce the time of obtaining the result, partially solve the problem of preliminary convergence of algorithms and obtain sets of quasi-optimal solutions in polynomial time. A software package has been developed and algorithms for automated two-dimensional packing based on the combined bioinspired algorithm have been implemented. A computational experiment on test cases (benchmarks) has been carried out. The packing quality obtained on the basis of the developed combined bioinspired algorithm, on average, by 2% exceeds the packing results obtained using known algorithms at comparable solution time, which indicates the effectiveness of

the proposed approach. The conducted series of tests and experiments allowed us to refine the theoretical estimates of the time complexity of the packing algorithms. In the best case the time complexity of the algorithms is $O(n^2)$, in the worst case - $O(n^3)$.

Two-dimensional packaging; packing in containers; multi-level approach; combined bio-inspired algorithm; genetic algorithm; evolutionary algorithm.

Введение. На сегодняшний день проблема эффективного распределения ресурсов является актуальной и важной задачей. В настоящее время ее качественное решение может быть обеспечено за счет применения систем автоматизированного проектирования. При чем производительность этих систем значительно повышается при включении в их состав оптимизационных методов.

Множество различных оптимизационных задач распределения ресурсов со схожими начальными условиями такие, как раскрой материала, контейнерная упаковка, календарное планирование, компоновка объектов сегодня объединяются в задачи «упаковки». Для решения данной задачи, многие компании внедряют системы автоматизированного проектирования (САПР). Снижение материальных затрат, увеличение качества проектирования, снижение сроков проектирования, являются основными целями автоматизации [1].

Целью данной задачи является размещение объектов в блоки заданной вместимости, таким образом, чтобы максимально их заполнить, при этом количество этих блоков должно быть минимальным.

Упаковка представляет собой сложную комбинаторно-логическую задачу, относящуюся к классу NP-полных задач [2].

Вследствие этого одним из наиболее перспективных направлений исследований является разработка и улучшение различных приближенных, а также эвристических методов решения задач упаковки. В связи с этим, предлагается для решения задач упаковки использовать комбинированные методы, основанные на генетической и биоинспирированной оптимизации [3–13].

Постановка задачи двумерной упаковки. Задача двумерной упаковки – представляет из себя задачу по упаковке двумерных объектов в двумерный контейнер, который может быть как ограниченный, так и неограниченный. Как например упаковка прямоугольников в квадрат или упаковка в полуограниченную полосу.

Основой задачи можно считать двумерную область (ограниченную или нет) и набор двумерных объектов, форма и разнородность или однородность которых задается по условию. Таким образом, объекты необходимо разместить внутри контейнера оптимальным образом, не нарушая заданные условия. Тогда Задача двумерной упаковки формулируется как:

♦ Пусть дана область контейнер и задано некое конечное множество объектов двумерной формы. Эти объекты образуются при помощи точек, образуя замкнутые области, ограниченные замкнутой кривой [14]. При этом определенное количество геометрических фигур, заданных по условию конкретной задачи, с заданными по условию формами необходимо уложить их на поверхность контейнера, ограниченного по обоим осям (x и y), образующего замкнутый прямоугольник. Расположить заданные фигуры необходимо таким образом, чтобы фигуры были достаточно плотно уплотнены между собой [14, 15]. При этом итоговое размещение объектов должно учитывать следующие ограничения:

♦ Общая площадь фигур не должна быть больше площади самого контейнера:

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

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

- ◆ элементы ϕ не должны накладываться друг на друга:

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

- ◆ и 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 целевой функции F чаще всего используют функцию k , значение которой равно коэффициенту использования материала [14, 15]. Так как потери материала должны быть минимальными, соответственно ЦФ необходимо максимизировать. При этом коэффициент k определяется согласно следующей формуле:

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

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

Сформулированная задача относится к классу NP-сложных задач. В связи с этим для ее решения предлагается использовать эвристические методы, инспирированные природными системами [3–13].

Многоуровневый подход для решения задачи двумерной упаковки геометрических фигур сложных форм. В настоящее время выделяют следующие подходы к решению NP-сложных задач. Первый подход – это упрощение алгоритмов, т.е. снижение их вычислительной сложности за счет применения эвристических процедур [3–13]. Второй подход – это упрощение решаемых задач за счет уменьшения их размерности или их декомпозиции [16]. Используя гибридизацию этих двух подходов, в работе используется метод, который позволяет реализовывать различные виды алгоритмов на разных уровнях поиска.

Многоуровневый подход заключается в разделении задачи двумерной упаковки геометрических фигур сложных форм на этапы (подзадачи) и решения каждой подзадачи в строгом порядке рис. 1 [11, 17, 18].

Такой подход позволяет значительно сократить время работы алгоритмов на каждом этапе и в итоге для всей задачи. Рассмотрим более подробно реализацию каждого этапа.



Рис. 1. Этапы решения задачи

На первом этапе выполняется симплификация – временное упрощение исходной формы. Здесь фигуры сложных форм обрамляются в более простые геометрические фигуры, как например это делают при паллетировании. Таким образом, у каждой фигуры будет свой абстрактный паллет, более простой геометрической формы, а именно прямоугольник, как показано на рис. 2.

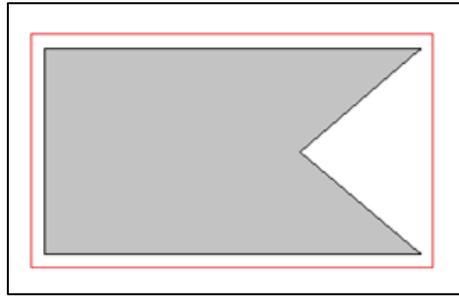


Рис. 2. Пример обрамления сложной геометрической формы в простую

Заметим, что упаковку таких объектов можно проводить быстро последовательными или итерационными алгоритмами. Опишем словесный алгоритм этого этапа. Сначала инициализируются исходные объекты, получая данные об ограничениях задачи, о размере контейнера, о количестве объектов, об их геометрических параметрах, их площади. Далее создается паллет, размеры которого изначально задаются равными размерам исходного контейнера и производится проверка вписывается ли выбранная фигура в паллет и касаются ли стороны паллета фигуры. Если да, то вычисляется площадь занятого пространства и площадь свободного пространства внутри паллеты, так как потенциал незанятого пространства в паллете нельзя игнорировать. Далее от площади паллеты отнимается площадь фигуры, подсчитанная заранее и затем в алгоритме динамически уменьшается размер обрамляющего фигуру контейнера до тех пор, пока не будет найден оптимальный размер обрамляющего паллета. Заметим, что между фигурой и обрамляющим паллетом могут оставаться небольшие зазоры, однако, они имеют условное значение и на последующих этапах будут устранены.

На втором этапе производится непосредственно упаковка полученных паллетов, т.е. задача упрощается до решения классической задачи двумерной упаковки разнородных прямоугольных форм. Поэтому на данном этапе для эффективного решения задачи предлагается использовать методы генетического поиска [3]. Данные методы позволяют достаточно быстро отбросить большое количество максимально неоптимальных решений. Окончанием поиска является условие, чем больше площадь пересечений свободного пространства подконтейнеров, тем лучшее решение получено, однако при этом необходимо учитывать ограничение, что сами фигуры не могут пересекаться. Итогом выполнения второго этапа станет получение набора квазиоптимальных решений задачи упаковки рис. 3.

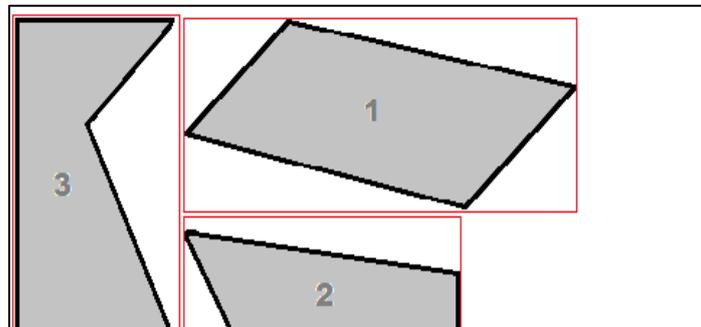


Рис. 3. Результат работы второго этапа

После выполнения второго этапа был получен результат, в котором паллеты упакованы оптимально, однако сами фигуры, как можно видеть, на рис. 3, имеют между собой достаточно большое количество свободного пространства внутри этих паллетов. В связи с этим необходимо провести концентрацию (компоновку) фигур для оптимизации свободного пространства [13, 15]. На данном этапе эффективно применяются как методы генетического поиска, так и биоинспирированной оптимизации [3, 4]. При этом алгоритм должен сдвигать фигуры таким образом, чтобы достичь как можно большего количества пересечений паллетов их обрамляющих, т.е. максимизировать площадь пересечения паллетов, без пересечений фигур друг с другом (рис. 4).

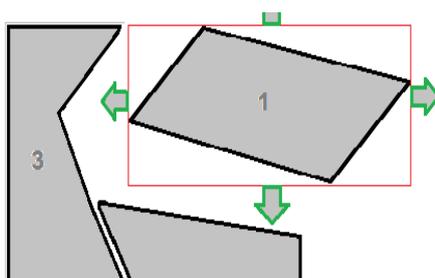


Рис. 4. Этап компоновки фигур

После завершения этапа компоновки фигур происходит переход на четвертый этап рекурсивной оптимизации и деоптимизации. Здесь наиболее близкие фигуры, попарно объединятся в один новый подконтейнер рис. 5.

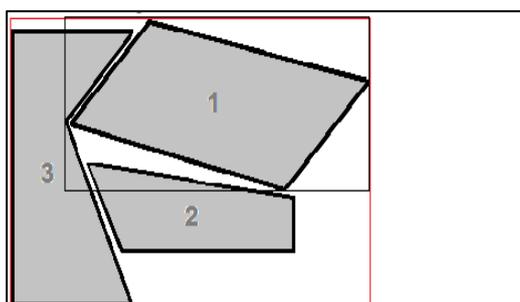


Рис. 5. Этап рекурсии и деоптимизации

После создания новых паллетов (подконтейнеров) реализуется деоптимизация [17, 18]. Здесь повторно производится упаковка новых подконтейнеров на основе проблемно-ориентированного генетического алгоритма для максимизации свободного пространства [19]. Данный шаг будет итерационно повторяться до тех пор, пока решение не перестанет улучшаться. Итоговая упаковка объекта приведена на рис. 6.

Отметим, что данный подход позволяет минимизировать потери абстрактного сырья и не затрачивать лишнее время на перебор и фильтрацию множества комбинаций фигур между собой.

Применение предложенного подхода имеет следующие преимущества: позволяет быстрее и эффективнее находить оптимальные решения, работать не с одним решением, а с множеством альтернативных решений, присутствует возможность рассматривать более перспективные и удалять заранее неперспективные решения.

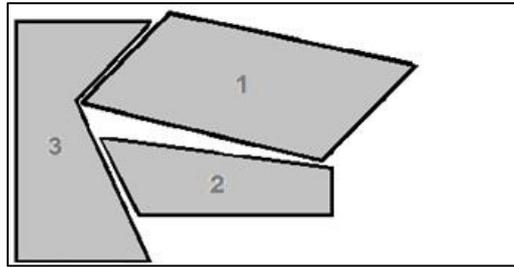


Рис. 6. Итоговая упаковка объектов

Вычислительный эксперимент. Разработана программная среда, на основе предложенного многоуровневого подхода, для решения задачи двумерной упаковки геометрических фигур сложных форм. При построении комплекса программ использовалась среда программирования Microsoft Visual Studio на языке C#. Отладка и тестирование разработанных алгоритмов выполнялось на компьютере типа IBM PC с процессором Intel Core i5 3600x с ОЗУ-16Гб. Проведен вычислительный эксперимент. Для определения эффективности разработанного подхода были проведены исследования качества решения для разного набора тестовых примеров (бенчмарк OR-Library), различающихся количеством блоков [20]. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1, а также на рис. 7.

Таблица 3

Сравнение разработанного БА с аналогами

Количество блоков	Ngoi et al.	Gehring и др.	Разработанный БА
шт.	%	%	%
100	61,5	63,1	62,5
200	68,2	68,5	68,8
300	74,3	75,5	77,6
400	80,6	81,4	82,5
500	88,4	90,2	92,8
Среднее значение	74,6	75,74	76,84

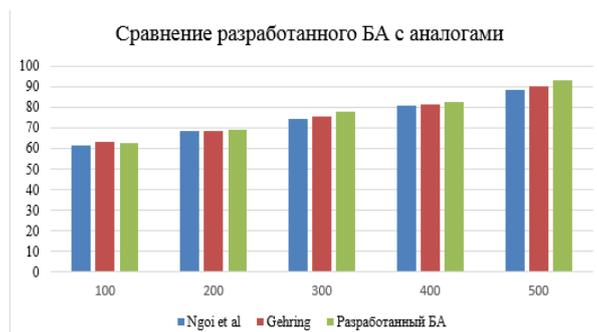


Рис. 7. Сравнение разработанного БА с аналогами

В результате анализа представленной таблицы и графика зависимостей можно сделать вывод, что разработанный многоуровневый подход на основе биоинспирированной оптимизации позволяет лучше производить упаковку блоков в

среднем на 2% использованного пространства по всем тестам, чем известные алгоритмы, при сопоставимом времени решения, что говорит об эффективности предложенного подхода.

Заключение. Предложен многоуровневый подход для решения задачи двумерной упаковки геометрических фигур сложных форм. Отличительной особенностью данного подхода является разбиение задачи на несколько подзадач (этапов), с последовательным решением каждой задачи. Для реализации этого подхода разработан комбинированный биоинспирированный алгоритм, позволяющий получать наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время и частично решать проблему предварительной сходимости алгоритмов. Разработана программная среда на языке C++. Проведен вычислительный эксперимент. Проведенные экспериментальные исследования, показали преимущество использования разработанного многоуровневого подхода для решения задач двумерной упаковки геометрических фигур сложных форм, по сравнению с известными методами.

Качество упаковки, полученное, на основе разработанного комбинированного биоинспирированного алгоритма, в среднем на 2 % превосходит результаты упаковки, полученные с использованием известных алгоритмов при сопоставимом времени решения, что говорит об эффективности предложенного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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*. – 2009. – Vol. 212. – P. 1-22.
2. *Кормен Т., Лейзерсон И., Ривест Р.* Алгоритмы. Построение и анализ. – М.: МЦМО, 2000.
3. *Гладков Л.А., Зинченко Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Нужнов Е.В., Сорокин С.Н.* Методы генетического поиска. – Таганрог, 2002.
4. *Курейчик В.В., Родзин С.И.* Вычислительные модели эволюционных и роевых биоэвристик (Обзор) // *Информационные технологии*. – 2021. – Т. 27, № 10. – С. 507-520.
5. *Тимофеева О.П., Соколова Э.С., Милов К.В.* Генетический алгоритм в оптимизации упаковки контейнеров // *Тр. НГТУ им. П.Е. Алексеева*. – 2012. – № 4 (101). – С. 167-172.
6. *Gehring H., Bortfeldt A.* A genetic algorithm for solving the container loading problem // *International Transactions in Operational Research*. – 1997. – Vol. 4, Iss. 5-6. – P. 401-418.
7. *Kureichik V., Kureichik L., Zaruba D.* Bioinspired algorithm for 2D packing problem // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. – Vol. 764. – P. 39-46.
8. *Li M., Song C., Zhou Z.* Hybrid particle swarm optimization for two-dimensional irregular parts packing // *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*. – 2005. – Vol. 37, Iss. 4. – P. 134-138.
9. *Shin Y., Kita E.* Solving two-dimensional packing problem using particle swarm optimization // *Computer Assisted Mechanics and Engineering Science*. – 2012. – Vol. 19, Iss. 3. – P. 241-255.
10. *Zhang D., Dong R., Si Y.* Hybrid swarm algorithm based on ABC and AIS for 2L-HFCVRP // *Q.a View Correspondence*. – 2017. – Vol. 61. – P. 726.
11. *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.
12. *Soukaina Laabadi, Naimi M., Amri H.E., Achchab B.* A Binary Crow Search Algorithm for Solving Two-dimensional Bin Packing Problem with Fixed Orientation // *Procedia Computer Science*. – 2020. – Vol. 167. – P. 809-818.
13. *Валеева А.Ф.* Применение конструктивных эвристик в задачах раскроя-упаковки // *Информационные технологии*. – 2006. – № S11. – С. 1-24.
14. *Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В.* Модели и методы расчета раскроя – упаковки геометрических объектов. – Уфа: УГАТУ, 1998. – 216 с.
15. *Фроловский В.Д.* Оптимальное группирование геометрических объектов при проектировании карт раскроя материалов // *Программные продукты и системы*. – 2000. – № 3. – С. 47-48.

16. *Базилевич Р.П.* Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств: монография. – Львов: Вицшашкола, 1981. – 81 с.
17. *Мухачева Э.А., Мухачева А.С.* Технология блочных структур локального поиска оптимума в задачах прямоугольной упаковки // Новые технологии. Информационные технологии. Приложение. – 2004. – № 5. – С. 19-31.
18. *Fadel G. Sinha G., McKee A.* Packing optimization using a rubberband analogy // Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, Pittsburgh, PA (ASME). – 2001. – Vol. 2. – P. 409-415.
19. *Бова В.В., Курейчик В.В., Лежебоков А.А.* Проблемно ориентированный генетический алгоритм упаковки разногабаритных элементов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3 (55). – С. 52-59.
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. *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*, 2009, Vol. 212, pp. 1-22.
2. *Kormen T., Leyzerson I., Rivest R.* Алгоритмы. Построение и анализ [Algorithms. Construction and analysis]. Moscow: MTSMO, 2000.
3. *Gladkov L.A., Zinchenko L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Lebedev B.K., Nuzhnov E.V., Sorokin S.N.* Metody geneticheskogo poiska [Genetic search methods]. Taganrog, 2002.
4. *Kureychik V.V., Rodzin S.I.* Vychislitel'nye modeli evolyutsionnykh i roevykh bioevristik (Obzor) [Computational models of evolutionary and swarm bioheuristics (Review)], *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2021, Vol. 27, No. 10, pp. 507-520.
5. *Timofeeva O.P., Sokolova E.S., Milov K.V.* Geneticheskii algoritm v optimizatsii upakovki konteynerov [Genetic algorithm in optimization of container packaging], *Tr. NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of NSTU im. R.E. Alekseeva], 2012, No. 4 (101), pp. 167-172.
6. *Gehring H., Bortfeldt A.* A genetic algorithm for solving the container loading problem, *International Transactions in Operational Research*, 1997, Vol. 4, Iss. 5-6, pp. 401-418.
7. *Kureichik V., Kureichik L., Zaruba D.* Bioinspired algorithm for 2D packing problem, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, Vol. 764, pp. 39-46.
8. *Li M., Song C., Zhou Z.* Hybrid particle swarm optimization for two-dimensional irregular parts packing, *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2005, Vol. 37, Iss. 4, pp. 134-138.
9. *Shin Y., Kita E.* Solving two-dimensional packing problem using particle swarm optimization, *Computer Assisted Mechanics and Engineering Science*, 2012, Vol. 19, Iss. 3, pp. 241-255.
10. *Zhang D., Dong R., Si Y.* Hybrid swarm algorithm based on ABC and AIS for 2L-HFCVRP, *Q.a View Correspondence*, 2017, Vol. 61, pp. 726.
11. *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.
12. *Soukaina Laabadi, Naimi M., Amri H.E., Achchab B.* A Binary Crow Search Algorithm for Solving Two-dimensional Bin Packing Problem with Fixed Orientation, *Procedia Computer Science*, 2020, Vol. 167, pp. 809-818.
13. *Valeeva A.F.* Primenenie konstruktivnykh evristik v zadachakh raskroya-upakovki [Application of constructive heuristics in cutting-packing problems], *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2006, No. S11, pp. 1-24.
14. *Mukhacheva E.A., Verkhoturov M.A., Martynov V.V.* Modeli i metody rascheta raskroya – upakovki geometricheskikh ob"ektov [Models and methods for calculating cutting and packaging of geometric objects]. Ufa: UGATU, 1998, 216 p.
15. *Frolovskiy V.D.* Optimal'noe gruppirovaniye geometricheskikh ob"ektov pri proektirovanii kart raskroya materialov [Optimal grouping of geometric objects when designing cutting charts for materials], *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2000, No. 3, pp. 47-48.
16. *Bazilevich R.P.* Dekompozitsionnye i topologicheskie metody avtomatizirovannogo konstruirovaniya elektronnykh ustroystv: monografiya [Decomposition and topological methods for automated design of electronic devices: monograph]. L'vov: Vishchashkola, 1981, 81 p.

17. *Mukhacheva E.A., Mukhacheva A.S. Tekhnologiya blochnykh struktur lokal'nogo poiska optimuma v zadachakh pryamougol'noy upakovki [Technology of block structures for local optimal search in rectangular packing problems], Novye tekhnologii. Informatsionnye tekhnologii. Prilozhenie [New technologies. Information Technology. Application], 2004, No. 5, pp. 19-31.*
18. *Fadel G. Sinha G., McKee A. Packing optimization using a rubberband analogy, Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, Pittsburgh, PA (ASME), 2001, Vol. 2, pp. 409-415.*
19. *Bova V.V., Kureychik V.V., Lezhebokov A.A. Problemno orientirovannyi geneticheskiy algoritm upakovki raznogabaritnykh elementov [Problem-oriented genetic algorithm for packing multi-sized elements], Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2014, No. 3 (55), pp. 52-59.*
20. *Zhukov L.A., Korchevskaya O.V. Metod ploskostey: chislennyi eksperiment dlya zadach dvukh i trekhmernoy ortogonal'noy upakovki [Method of planes: numerical experiment for two- and three-dimensional orthogonal packing problems], Informatsionnye tekhnologii [Information technologies], 2008, No. 11, pp. 41-45.*

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

Курейчик Владимир Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: vkur@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634383451; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой САПР; д.т.н.; профессор.

Бова Виктория Викторовна – e-mail: vbova@yandex.ru; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Халенков Александр Юрьевич – e-mail: halenkov@sfedu.ru; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

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

Bova Victoria Victorovna – e-mail: vbova@yandex.ru; phone: +78634371651; the department of computer aided design; associate professor.

Halenkov Alexander Yuryevich – e-mail: halenkov@sfedu.ru; phone: +78634371651; the department of computer aided design; graduate student.

УДК 004.056

DOI 10.18522/2311-3103-2023-5-66-81

А.А. Олейникова, В.В. Золотарев

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ЦИКЛА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Для динамически изменяющихся объектов управления в задаче управления информационной безопасностью возникают новые задачи, такие как изменение подходов к сбору и анализу данных, разработка динамических сценариев реагирования на угрозы безопасности информации. Они должны быть решены через создание применимых в указанной задаче алгоритмов, моделей, методик и подходов управления безопасностью, в том числе на уровне организации процессов, работы с данными и формирования архитектуры информационной безопасности организации. Кроме того, для разработки и формирования инструментов непрерывного детектирования и реагирования необходимо предложить новые способы интеграции указанных алгоритмов в структуру объекта управления. При этом создание систем реагирования на базе новой концепции предполагает и изменение алгоритмов управления безопасностью таких систем в особых случаях, таких как децентрализованное