

24. *Habibi, Farhad & Barzinpour, Farnaz & Sadjadi, Seyed.* Resource-constrained project scheduling problem: review of past and recent developments, *Journal of Project Management*, 2018, No. 3, pp. 55-88. 10.5267/j.jp.m.2018.1.005.
25. *Mogilev A.A.* Obzor metodov resheniya zadach teorii raspisaniy [Review of methods for solving problems in the theory of schedules], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenerное obrazovanie* [Informatics, computer engineering and engineering education], 2019, Vol. 37, No. 2.

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

**Могилев Алексей Алексеевич** – Южный федеральный университет; e-mail: alexmogilev08@mail.ru; 347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44; тел.: 89897258619; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

**Курейчик Виктор Михайлович** – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; тел.: 88634311487; кафедра системы автоматизированного проектирования; д.т.н.; профессор.

**Mogilev Alexey Alexeevich** – Southern Federal University; e-mail: alexmogilev08@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79897258619; the department of computer aided design; postgraduate student.

**Kureichik Viktor Mikhaylovich** – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; phone: +78634311487; the department of computer aided design; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.896

DOI 10.18522/2311-3103-2020-2-169-179

**Э.В. Кулнев, А.А. Лежебоков, Семенова М.М., В.А. Семенов**

#### **ПОДХОД К КОДИРОВАНИЮ РЕШЕНИЙ В ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДАХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ\***

*Рассмотрены актуальные вопросы и проведен анализ проблемы трехмерной интеграции и трехмерного моделирования, возникающей на этапе конструкторского проектирования в ходе решения задачи оптимального планирования компонентов больших и сверхбольших интегральных схем и корпусных устройств электронной вычислительной аппаратуры. Представлены и достаточно детально описаны основные преимущества применения принципов трехмерной интеграции, позволяющие эффективно организовывать производство персонализированной электроники, оптимально планировать конфигурацию больших и сверхбольших интегральных схем с учетом тепловых и энергетических характеристик. В ходе выполнения исследований авторами разработан подход к кодированию решений на основе интеллектуального механизма, который характеризуется наличием встроенных средств контроля допустимых решений. Одним из таких средств, экспериментально доказавших свою эффективность, является встроенный механизм «смертельных мутаций», учитывающий статусы генов и заранее заданные ограничения на итоговую конфигурацию корпуса проектируемого устройства. В работе предложен ряд общих подходов и конкретных алгоритмов решения задачи планирования, основывающихся на результатах исследований авторского коллектива и современных подходах к решению NP-полных задач. Важнейшим практически значимым результатом исследований обозначенной проблемы является разработанная программно-инструментальная платформа проектирования на современном кроссплатформенном языке программирования Java. Выбранная технология разработки позволяет использовать все основные достоинства современных многоядерных и многопроцессорных архитектур, по использованию программной многопоточности для реализации параллельных схем решения комбинаторных задач. Программно-инструментальная платформа обладает дружественным интерфейсом, что позволяет эффективно управлять процессом решения задачи планирования компонентов*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 18-01-00041 и № 18-07-00055.

*больших и сверхбольших интегральных схем трехмерной интеграции, путем визуализации ключевых показателей работы алгоритмов на графиках и в блоках текстовой статистики. Разработанное прикладное программное обеспечение позволило провести серию вычислительных экспериментов, на основе наборов случайных данных также, как и наборах открытых данных бенчмарков для подобного рода задач. Результаты экспериментальных исследований позволили подтвердить теоретические оценки временной сложности и эффективности предложенных подходов и алгоритмов, в том числе генетического алгоритма, который использует предложенный в работе новый механизм кодирования решений.*

*Трехмерное моделирование; трехмерная интеграция; размещение; БИС; СБИС; генетический алгоритм; эволюция; биоинспирированный алгоритм.*

**E.V. Kuliev, A.A. Lezhebokov., M.M. Semenova, V.A. Semenov**

### **SOLUTIONS' ENCODING IN EVOLUTIONARY METHODS FOR INSTRUMENTAL DESIGN PLATFORM**

*The article considers current issues and analyzes the problems of three-dimensional integration and three-dimensional modeling that arise at the design stage during the solution of the problem of optimal planning of components of large and extra-large integrated circuits and case devices of electronic computing equipment. The main advantages of applying the principles of three-dimensional integration are presented and described in sufficient detail, which allow efficiently organizing the production of personalized electronics, optimally planning the configuration of large and ultra-large integrated circuits, taking into account thermal and energy characteristics. In the course of research, the authors developed an approach to encoding decisions based on an intelligent mechanism, which is characterized by the presence of built-in means of control of acceptable decisions. One of such tools that have experimentally proven their effectiveness is the built-in mechanism of "deadly mutations", which takes into account the status of genes and predetermined restrictions on the final configuration of the housing of the designed device. A series of general approaches and specific algorithms for solving the planning problem based on the results of research by the author's team and modern approaches to solving NP-complete problems are proposed. The most important practically significant result of the research of the indicated problem is the developed software and instrumental design platform in the modern cross-platform Java programming language. The selected development technology allows you to use all the main advantages of modern multi-core and multi-processor architectures, to use software multi-threading to implement parallel schemes for solving combinatorial problems. The software and tool platform has a user-friendly interface, which allows you to effectively manage the process of solving the problem of planning the components of large and ultra-large integrated circuits of three-dimensional integration by visualizing key performance indicators of algorithms on graphs and in text statistics blocks. The developed application software made it possible to carry out a series of computational experiments based on random data sets, as well as on open-data boron benchmarks for such tasks. The results of experimental studies have confirmed the theoretical estimates of the time complexity and effectiveness of the proposed approaches and algorithms, including the genetic algorithm, which uses the new decision coding mechanism proposed in the work.*

*Three-dimensional modeling; three-dimensional integration; placement; LSI; VLSI; genetic algorithm; evolution; bioinspired algorithm.*

**Введение.** Устройства трехмерной интеграции и современные сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) представляют собой попытку преодолеть ограниченность плоских устройств путем интеграции нескольких слоев кристаллов в единую монолитную структуру. Преимуществом такого вертикального расширения является лучшее использование площади чипа или объема корпуса устройства ЭВА, уменьшение общей длины проводников, оптимизация критических связей и увеличение количества транзисторов на единицу площади, это приводит к росту производительности и повышению энергоэффективности [1].

Предлагаемый подход трехмерной интеграции актуален и в случае проектирования монолитных корпусных устройств вычислительной аппаратуры. В настоящее время задача проектирования объемных устройств актуальна, так как в

процессе исторического развития компьютерной техники и информационных технологий стала востребованной задача оперирования объемными представлениями (моделями) реальных объектов в процессе автоматизированного проектирования. Появлению современных методов трехмерного моделирования объектов способствовал бурный рост производительности вычислительной техники. Большинство из существующих сегодня электронных устройств представляют собой двумерную (плоскую) печатную плату, вложенную в трёхмерный (объёмный) корпус [2–3]. В настоящее время активно развиваются технологии аддитивного производства, которые позволяют производить более сложные электронные устройства за одну технологическую операцию. Данные технологии размещают компоненты по всему внутреннему объёму корпуса и соединив их объемными цепями, что обеспечивает появление новых технологических преимуществ:

- ◆ компактность изделия – максимально эффективное использование пространства;
- ◆ сверхсложные геометрические формы – аддитивные технологии позволяют произвести изделие произвольной геометрической формы;
- ◆ возможность изготавливать невозможные по форме для классических технологий изделия;
- ◆ хорошие механические, временные и тепловые характеристики;
- ◆ производство персонализированной носимой электроники (например, наушники, оптимально подходящие под ушные раковины конкретного потребителя, удобные персонализированные роботизированные протезы конечностей, различные биологические датчики);
- ◆ снижение стоимости проектирования и изготовления – уменьшается как цикл разработки, так и длина производственных цепочек, что, в том числе, сокращает расходы на логистику;
- ◆ возможность спроектировать и изготовить изделие, не требующее дополнительной операции сборки.

**1. Проблема трехмерного размещения.** В качестве примера практической задачи рассмотрим задачу планирования конфигурации устройства из исходных данных, таких как принципиальная электрическая схема (рис. 1), геометрия корпуса устройства (рис. 2) и дополнительных ограничений (например, специальной геометрии для дальнейшей подготовки к печати на 3D-принтере). В качестве моделируемого устройства рассмотрим зарядное устройство-анализатор NiMh/NiCd аккумуляторов.

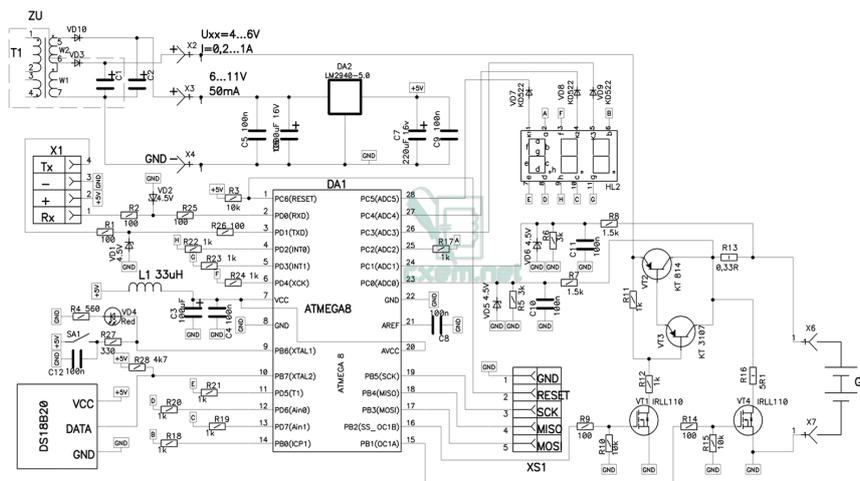


Рис. 1. Пример схемы электрической принципиальной

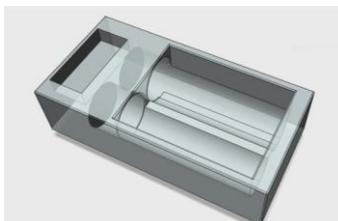


Рис. 2. Пример исходной геометрии корпуса устройства.

При малом количестве элементов схемы и отсутствии жестких требований по компактности схемы инженер-конструктор имеет возможность с помощью классических инструментов проектирования разместить элементы в корпусе и провести соединяющие трассы [4–7]. При повышении степени интеграции СБИС или увеличении количества размещаемых элементов ЭВА и их взаимосвязей – оптимальное размещение и соединение элементов в корпусе становится задачей требующей большого числа ресурсов для её решения. Известные алгоритмы, решающие NP-полные задачи, в частности, задачу размещения, имеют экспоненциальную временную сложность, что эквивалентно полному перебору всех возможных вариантов решений. Следовательно, актуальной и востребованной остается задача разработки новых методов и алгоритмов планирования и размещения элементов СБИС трехмерной интеграции на основе проверенных современных эвристик и подтвержденных гипотез об эффективности методов эволюционного моделирования и генетического поиска.

**2. Механизм кодирования решений.** Новизна подхода к кодированию решения в эволюционных методах (генетических, эволюционных и бионических алгоритмах) для задачи планирования конфигурации устройств трехмерной интеграции заключается в использовании модели представления объема с помощью октантного дерева (octree) [9-15]. Октантное дерево (октодерево) является структурой, которая описывает последовательное разбиение объема изображения на элементы уменьшающегося объема. Формирование октодерева удобнее всего описать в рекурсивной форме. В корневом узле октодерева находится весь объем изображения. Далее каждый узел может иметь восемь потомков, если необходимый элемент объема, или блок (прямоугольный параллелепипед), разделен на подблоки (которые, как правило, берутся равными по размеру и форме). Степенью детализации представления можно управлять, изменяя глубину рекурсии процедуры разбиения [8].

Хромосома представляет собой вектор, каждый ген кодируется объектом класса Gene, UML диаграмма которого представлена на рис. 3.

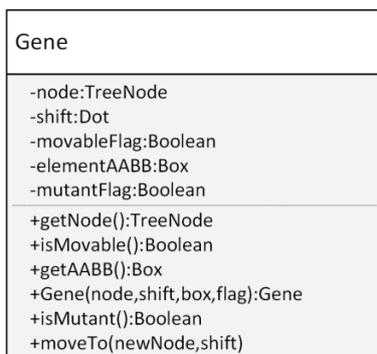


Рис. 3. Структура класса Gene (один ген хромосомы).

JSON – это специальная библиотека, которая используется для записи в файл или передачи по сети в системе. Она позволяет, реализовать интерфейс JsonSerializer<?>, а так же сериализовать любой объект в JSON (англ. JavaScript Object Notation). Эта текстовая, человеко-читаемая нотация – стандарт в кодировании и передаче объектов в сети интернет.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий процесс кодирования и декодирования хромосомы. В качестве примера исходных данных используется геометрическая форма, представленная на рис. 4.

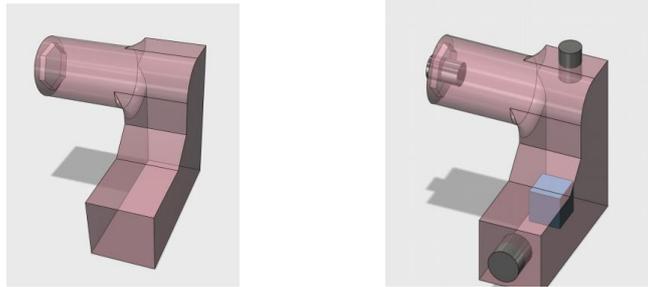


Рис. 4. Геометрия тестового корпуса и пример размещения элементов

*Описание хромосомы.*

Целевая функция, рассчитываемая данным алгоритмом выражается в условных единицах, но для удобства восприятия приведена к миллиметрам в кубе. Пример хромосомы может быть представлен вектором:

$$\langle A1, m1, A2, m2, \dots, An, mn \rangle,$$

где элементы A – это элементы цепи, а элементы m это модификаторы изменения направления движения трассы в пространстве. Объем всех трасс/цепей характеризует проектируемый объект по заданным характеристикам (теплопроводность и эффективность, трассируемость и т.п.)

При глубине рекурсии алгоритма построения равному пяти, дерево этого корпуса имеет 8857 узлов (или листов). В этом корпусе необходимо разместить 4 элемента. В схеме три элемента являются терминальными (или выходными), то есть это элементы, которые нельзя передвигать. На рис. 4 показано возможное расположение элементов, в виде трех цилиндров и куба. Цилиндры являются неподвижными элементами, а куб подвижным.

**3. Алгоритм расчета целевой функции.** На рис. 5 представлен алгоритм расчета целевой функции хромосомы. Геометрия элементов (на рис. представлена в виде куба и цилиндров), список цепей, проложенные трассы между размещенными элементами визуализация этих данных представлена на рис.б. Как было отмечено ранее, для простоты примера куб будет единственным изменяемым (перемещаемым) элементом. Поэтому в примере хромосомы будут отличаться только этим геном [9].

*Описание алгоритма.*

Алгоритм имеет линейную структуру с единственным циклом по числу цепей. Для каждой цепи, значение вычисленного объема кэшируется и сохраняется в специальном хранилище, которая позволяет не тратить ресурсы на перерасчет целевой функции для цепей, конфигурация которых не поменялась. В случае если конфигурация цепи меняется незначительно, можно отдельно пересчитать функцию для участка цепи, но это требуется дополнительного усложнения алгоритма,

поэтому на данном этапе исследование деление цепи на участки не предусмотрено. Алгоритм пересчета объема одной цепи учитывает каждую точку изменения направления трехмерной трассы и все необходимые точки контактных площадок.

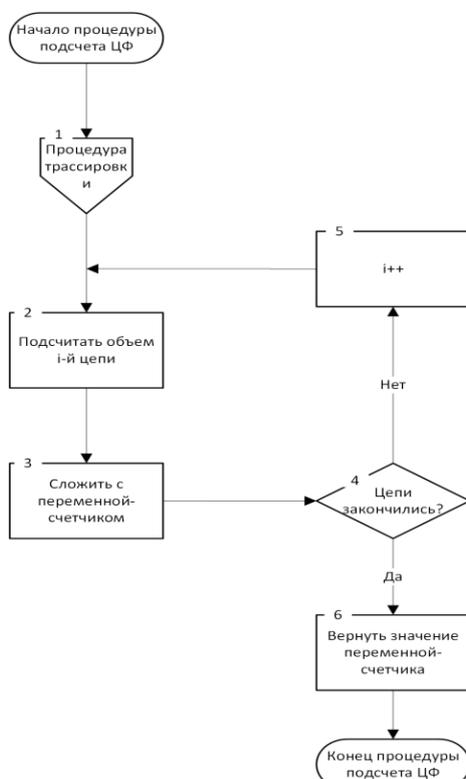


Рис. 5. Алгоритм расчета целевой функции хромосомы

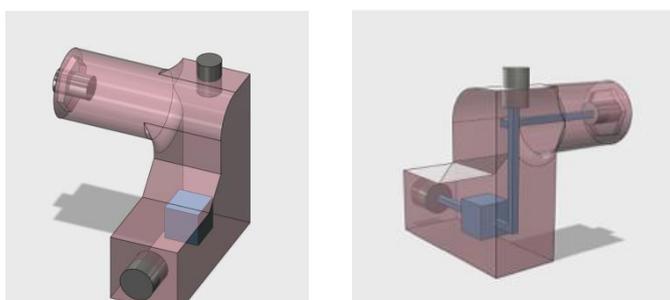


Рис. 6. Модель объёма и конфигурация устройства для хромосомы 1

Вычисленная по приведенному алгоритму оценки объема первой хромосомы –  $46381.194 \text{ mm}^3$ , второе –  $54721.409 \text{ mm}^3$ .

В ходе выполнения генетического алгоритма и применения различных генетических операторов (кроссинговер, мутация, инверсия) используется новый механизм, при котором в алгоритм вводится понятие «смертельных мутаций». Суть этого механизма в следующем: если мутация (изменение значения) происходит в гене, который помечен специальным флагом, то все потомки этой хромосомы, несущие этот ген, считаются «мертвыми» (недопустимыми).

Модификация информационной модели гена состоит в следующем: ген несет специальные флаги – флаг, который запоминает мутировал ли ген в нынешнем поколении и флаг не изменения. Модификация оператора мутации же заключается в том, что он взводит флаг мутации гена, если она в нем происходит. Дальнейшие модификации алгоритмов связаны с реализацией различных методик использования этих флагов (указателей).

**4. Результаты вычислительных экспериментов.** В ходе выполнения исследований была разработана программа для ЭВМ, предназначенная для решения задачи трехмерного размещения элементов ЭВА. В качестве основного подхода к исследованиям разработанного механизма кодирования была выбрана теория эволюционных вычислений, на основе которой разработаны классический генетический и новый биоинспирированный алгоритмы [9–10]. Суть эволюционного подхода заключается в последовательном развитии (эволюции) набора решений согласно выбранной модели эволюции. В результате эволюции в популяции (наборе) решений закрепляются особи (решения) с наиболее удачными характеристиками, что позволяет находить оптимальные и квазиоптимальные решения оптимизационных задач за приемлемое время. Разработанная программа имеет встроенный конфигуратор генетического алгоритма, который позволяет гибко подстраивать алгоритм к конкретным исходным данным. Для использования полученных результатов другими программными комплексами реализованная функция экспорта результатов. Программный продукт является кроссплатформенным, так как реализован на языке высокого уровня Java. То есть он запустится на любой операционной системе (ОС), где реализована среда исполнения Java (JRE). К этим ОС относятся все наиболее популярные, такие как Windows, Linux, MAC OS X и другие менее распространенных.

Основная цель разработанного программного продукта, состоит в реализации алгоритма, который эффективно решает прикладную задачу планирования конфигурации объемных устройств. В качестве объекта исследования был использован биоинспирированный алгоритм размещения элементов схем ЭВА в трехмерном пространстве с учетом трассируемости. Сравнение разработанного алгоритма проводилось со случайным и генетическим алгоритмами, так как они являются итерационными и используют схожие вероятностные механизмы генерации новых решений. Исследуемые сравниваемые алгоритмы также имеют однотипный набор управляющих параметров, что позволяет повысить точность анализа результатов экспериментов [15–20]. Эффективность алгоритма размещения заключается в подборе параметров используемого генетического алгоритма таких как очередность и вероятности генетических операторов. Анализ эффективности разработанного алгоритма размещения состоит в определении временной сложности алгоритма (BCA).

Для проведения экспериментальных исследований, авторами были выбраны схемы с различным набором выходных данных. Экспериментальные исследования проводились над сверхбольшими интегральными схемами с различным количеством размещаемых элементов, от 10000 до 100000. В данной работе временная сложность рассчитывается исходя из зависимости времени работы алгоритмов от количества размещаемых ими элементов [20]. Было проведено сравнение производительности предложенного алгоритма с несколькими другими методами оптимизации на основе популяции, которые представляют собой генетический, муравьиный алгоритмы (ГА, МА).

Полученные в ходе проведенных экспериментов данные представлены в табл. 1 и на рис. 7.

Таблица 1

## Оценка временной сложности алгоритмов

Количество элементов	Алгоритм		
	Генетический (мин)	Случайный (мин)	Биоинспирированный (мин)
10000	1,07	2,22	1,87
20000	2,61	3,89	3,77
30000	3,81	5,28	5,18
40000	5,04	6,11	6,01
50000	7,18	8,51	8,17
60000	9,2	10,4	9,7
70000	12,6	13,5	12,9
80000	16,5	18,0	17,77
90000	18,7	20,2	19,8
100000	21,2	23,1	21,9

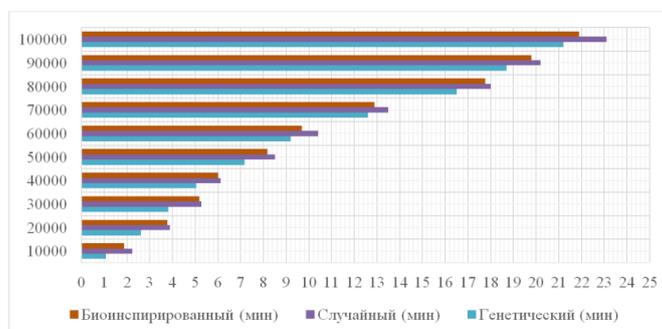


Рис. 7. График зависимости времени работы от количества элементов

В результате, наиболее эффективным является разработанный алгоритм размещения элементов в трехмерном пространстве с учетом трассируемой. Он в среднем на 7–9 % эффективнее случайного и на 9–13 % эффективнее генетического алгоритма. Временная сложность разработанного алгоритма равна  $O(n^2)$ .

**Заключение.** В результате проведенного исследования был выполнен анализ проблемы трехмерной интеграции и трехмерного моделирования для задачи оптимального планирования компонентов СБИС и корпусных устройств ЭВА. Установлены основные преимущества применения трехмерной интеграции, позволяющие эффективно организовывать производство персонализированной электроники, оптимально планировать конфигурацию СБИС с учетом тепловых и энергетических характеристик. Разработанный механизм кодирования решений отличается наличием встроенных средств контроля допустимых решений, путем использования механизма «смертельных мутаций», учитывающего статусы генов и заданную конфигурацию корпуса проектируемого устройства.

Предложенный подход и алгоритм были реализованы в виде программы на языке Java, которая является кроссплатформенной, обладает дружественным интерфейсом и позволяет управлять процессом решения задачи планирования компонентов СБИС трехмерной интеграции. Разработанное программное обеспечение позволило провести вычислительный эксперимент, подтвердивший теоретические оценки временной сложности и эффективности генетического алгоритма с предложенным механизмом кодирования решений. Количественно эффективность

предложенного подхода к кодированию решений можно определить на уровне 7–9 % при использовании данной схемы в биоинспирированном алгоритме по сравнению с классическим генетическим алгоритмом. Данные показатели могут быть дополнительно улучшены за счет применения схем распараллеливания вычислений на современных многоядерных и многопроцессорных системах.

Дальнейшие исследования будут связаны с развитием теории биоинспирированного поиска, направлены на разработку новых методов и алгоритмов решения оптимизационных задач автоматизированного проектирования СБИС трехмерной интеграции с учетом предложенного механизма кодирования решений. Гипотеза дальнейших исследований базируется на предположении о том, что интеграция нового механизма кодирования с принципами теории принятия решений и методами искусственного интеллекта позволит повысить эффективность процесса проектирования сложного оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 364 с.
2. *Карпенко А.П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации // Алгоритмы, вдохновленные природой: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 474 с.
3. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И.* Теория эволюционных вычислений. – М.: Физматлит, 2012. – 260 с.
4. *Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю.* Современные проблемы при размещении элементов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 68-73.
5. *Лежебоков А.А., Кравченко Ю.А., Пащенко С.В.* Особенности использования технологии дополненной реальности для поддержки образовательных процессов // Открытое образование. – 2014. – № 3 (104). – С. 49-54.
6. *Лежебоков А.А., Кулиев Э.В.* Технологии визуализации для прикладных задач интеллектуального анализа данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2019. – № 4 (90). – С. 14-23.
7. *Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Генетический алгоритм разбиения графа // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 1999. – № 4. – С. 79-87.
8. *Кулиев Э.В., Кравченко Ю.А., Логинов О.А., Запорожец Д.Ю.* Метод интеллектуального принятия эффективных решений на основе биоинспирированного подхода // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017. – № 6-2 (80). – С. 162-169.
9. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Кравченко Ю.А.* Роевой алгоритм поисковой оптимизации на основе моделирования поведения летучих мышей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 7 (180). – С. 53-62.
10. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А.* О гибридном алгоритме размещения компонентов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 188-192.
11. *Bova V.V., Lezhebokov A.A., Gladkov L.A.* Problem-oriented algorithms of solutions search based on the methods of swarm intelligence // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 27 (9). – P. 1201-1205.
12. *Zaruba D., Zaporozhets D., Kureichik V.* VLSI placement problem based on ant colony optimization algorithm // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2016. – Vol. 464. – P. 127-133.
13. *Kureichik V., Kureichik V., Bova V.* Placement of VLSI fragments based on a multilayered approach // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2016. – Vol. 464. – P. 181-190.
14. *Kureichik V.V., Zaruba D.V.* The bioinspired algorithm of electronic computing equipment schemes elements placement // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2015. – Vol. 347. – P. 51-58.
15. *Гладков Л.А., Гладкова Н.В., Гордиенко В.Н.* Модифицированный генетический алгоритм решения задачи компоновки блоков ЭВА // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2015. – № 4 (24). – С. 18-27.
16. *Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл.* Биоинспирированный алгоритм разбиения схем при проектировании СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 23-29.

17. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Гладков Л.А., Сороколетов П.В. Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
18. Курейчик В.В., Заруба Д.В., Запорожец Д.Ю. Биоинспирированный алгоритм компоновки блоков ЭВА на основе модифицированной раскраски графа // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 4 (165). – С. 6-14.
19. Курейчик В.В., Курейчик В.В., Бова В.В. Биоинспирированный поиск в задачах конструкторского проектирования и оптимизации // Информационные технологии в науке, образовании и управлении / под ред. проф. Е.Л. Глорнозова. – 2015. – С. 427-432.
20. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Дуккардт А.Н. Подход к исследованию окрестностей в роевых алгоритмах для решения оптимизационных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 15-25.
21. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А. Исследование характеристик гибридного алгоритма размещения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 255-261.

## REFERENCES

1. Norenkov I.P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya [Fundamentals of computer-aided design]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2010, 364 p.
2. Karpenko A.P. Sovremennye algoritmy poiskovoy optimizatsii [Modern search engine optimization algorithms], *Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy: ucheb. posobie* [Algorithms inspired by nature: a textbook]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2014, 474 p.
3. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy [Theory of evolutionary computation]. Moscow: Fizmatlit, 2012, 260 p.
4. Kureychik V.V., Zaporozhets D.Yu. Sovremennyye problemy pri razmeshchenii elementov SBIS [Current problems in placing VLSI elements], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 68-73.
5. Lezhebokov A.A., Kravchenko Yu.A., Pashchenko S.V. Osobennosti ispol'zovaniya tekhnologii dopolnennoy real'nosti dlya podderzhki obrazovatel'nykh protsessov [Features of using augmented reality technology to support educational processes], *Otkrytoe obrazovanie* [Open education], 2014, No. 3 (104), pp. 49-54.
6. Lezhebokov A.A., Kuliev E.V. Tekhnologii vizualizatsii dlya prikladnykh zadach intellektual'nogo analiza dannykh [Visualization technologies for data mining applications], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestiya Kabardino-Balkar scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2019, No. 4 (90), pp. 14-23.
7. Kureychik V.M., Kureychik V.V. Geneticheskyy algoritm razbieniya grafa [Genetic algorithm for graph splitting], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems], 1999, No. 4, pp. 79-87.
8. Kuliev E.V., Kravchenko Yu.A., Loginov O.A., Zaporozhets D.Yu. Metod intellektual'nogo prinyatiya effektivnykh resheniy na osnove bioinspirirovannogo podkhoda [Method of intelligent decision-making based on a bioinspired approach], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestiya Kabardino-Balkar scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2017, No. 6-2 (80), pp. 162-169.
9. Kuliev E.V., Lezhebokov A.A., Kravchenko Yu.A. Roeffy algoritm poiskovoy optimizatsii na osnove modelirovaniya povedeniya letuchikh myshey [Swarm algorithm search engine optimization is based on modeling the behavior of bats], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 7 (180), pp. 53-62.
10. Kuliev E.V., Lezhebokov A.A. O gibridnom algoritme razmeshcheniya komponentov SBIS [About a hybrid VLSI component placement algorithm], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 188-192.
11. Bova V.V., Lezhebokov A.A., Gladkov L.A. Problem-oriented algorithms of solutions search based on the methods of swarm intelligence, *World Applied Sciences Journal*, 2013, Vol. 27 (9), pp. 1201-1205.
12. Zaruba D., Zaporozhets D., Kureichik V. VLSI placement problem based on ant colony optimization algorithm, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, Vol. 464, pp. 127-133.
13. Kureichik V., Kureichik V., Bova V. Placement of VLSI fragments based on a multilayered approach, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, Vol. 464, pp. 181-190.
14. Kureichik V.V., Zaruba D.V. The bioinspired algorithm of electronic computing equipment schemes elements placement, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, Vol. 347, pp. 51-58.

15. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gordienko V.N. Modifitsirovannyi geneticheskiy algoritm resheniya zadachi komponovki blokov EVA [Modified genetic algorithm for solving the problem of EVA block layout], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Computer science, computer engineering and engineering education], 2015, No. 4 (24), pp. 18-27.
16. Kureychik V.V., Kureychik V.I. Bioinspirirovannyi algoritm razbieniia skhem pri proektirovanii SBIS [Bioinspired algorithm for splitting circuits in VLSI design], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 23-29.
17. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Gladkov L.A., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
18. Kureychik V.V., Zaruba D.V., Zaporozhets D.Yu. Bioinspirirovannyi algoritm komponovki blokov EVA na osnove modifitsirovannoy raskraski grafa [Bioinspired algorithm for EVA block layout based on modified graph coloring], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 4 (165), pp. 6-14.
19. Kureychik V.V., Kureychik V.I., Bova V.V. Bioinspirirovannyi poisk v zadachakh konstruktorskogo proektirovaniya i optimizatsii [Bioinspired search in the problems of design design and optimization], *Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii* [Information technologies in science, education and management], ed. by prof. E.L. Glorizova, 2015, pp. 427-432.
20. Kuliev E.V., Lezhebokov A.A., Dukkardt A.N. Podkhod k issledovaniyu okrestnostey v roevykh algoritmakh dlya resheniya optimizatsionnykh zadach [Approach to neighborhood research in swarm algorithms for solving optimization problems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 15-25.
21. Kuliev E.V., Lezhebokov A.A. Issledovanie kharakteristik gibridnogo algoritma razmeshcheniya [The study of the characteristics of hybrid positioning algorithm], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 3 (140), pp. 255-261.

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

**Кулиев Эльмар Валерьевич** – Южный федеральный университет; e-mail: ekuliev@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; доцент.

**Лежебоков Андрей Анатольевич** – e-mail: aalezhebokov@sfedu.ru; доцент.

**Семенова Марина Максимовна** – e-mail: bogomolova@sfedu.ru; студент.

**Семенов Виктор Алексеевич** – e-mail: viksemenov@sfedu.ru; студент.

**Kuliev Elmar Valerievich** – Southern Federal University; e-mail: ekuliev@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; associate professor.

**Lezhebokov Andrey Anatolevich** – e-mail: aalezhebokov@sfedu.ru; associate professor.

**Semenova Marina Maximovna** – e-mail: bogomolova@sfedu.ru; student.

**Semenov Victor Alekseevich** – e-mail: viksemenov@sfedu.ru; student.

УДК 658.512

DOI 10.18522/2311-3103-2020-2-179-192

**Е.В. Данильченко, В.И. Данильченко, В.М. Курейчик**

### **КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ КОМПОНОВКИ БЛОКОВ ЭВА**

*В настоящее время наблюдается большой рост потребности в проектировании и разработке радиоэлектронных устройств. Это связано с повышающимися требованиями к радиоэлектронным системам, а также появлением новых поколений полупроводниковых приборов. В этой связи возникает необходимость в разработке новых средств автоматизированной компоновки блоков ЭВА. Перед компоновкой блоков ЭВА существует ряд проблем, которые усложняют реальное представление знаний в САПР и вероятно разрешимы на нынешнем уровне развития когнитивных наук. Проблема стереотипа и проблема огруб-*