

9. Novaya versiya SAPR Vivado Design Suite 2013.3 [A new version of CAD Vivado Design Suite 2013.3] Available at: <http://www.xilinx.com/products/design-tools/vivado/index.htm>: (accessed: 11 May 2014).
10. Obzor sovremennykh SAPR dlya PLIS [An overview of modern CAD systems for FPGA. Available at: <http://www.russianelectronics.ru/review/2189/doc/39084> (accessed: 11. May 2014).
11. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannye metody v optimizatsii [Bioinspiration methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
12. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev V.B. Planirovanie sverkhbolshikh integralnykh skhem na osnove integratsii modeley adaptivnogo poiska [Planning of very large scale integrated circuits on the basis of integration models adaptive search], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Theory and control system], 2013, No. 1, pp. 84-101.

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

Лисяк Владимир Васильевич – Южный федеральный университет; e-mail: v-lisyak@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634360524; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Лисяк Наталия Константиновна – e-mail: NKL2004@mail.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Lisyak Vladimir Vasilievich – Southern Federal University; e-mail: v-lisyak@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634360524; the department of computer aided design; associate professor.

Lisyak Natalia Konstantinovna – e-mail: NKL2004@mail.ru; the department of computer aided design; associate professor.

УДК 681.3.001.63

С.Н. Щеглов

ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ В САПР*

Рассмотрено проведение вычислительных экспериментов при принятии решений для графовых моделей в САПР. Рассматриваются методы исследования алгоритмов автоматизированного проектирования на примере задачи размещения СБИС. Показаны цели исследования алгоритмов – определение оптимальных параметров, при которых алгоритмы находят глобальные или близкие к нему решения (максимумы) за минимальное время работы, а также доказательство их эффективности (оптимальности), по сравнению с аналогичными алгоритмами. Приведены этапы экспериментальных исследований. Перед началом экспериментов необходимо определить порядок их проведения, чтобы за счёт оптимального планирования с минимальными затратами получить всю информацию относительно объектов исследования. Для комплексного тестирования инспирированных природой алгоритмов была рассмотрена пример работы специализированной программной среды. Основное её предназначение заключается в получении анализа интегральных численных оценок эффективности набора алгоритмов для принятия решений в САПР.

Автоматизация проектирования; СБИС; алгоритм; оптимум; вычислительные эксперименты; графовые модели; принятие решений.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 12-07-00058).

S.N. Shcheglov

**RESEARCH OF ALGORITHMS OF THE AUTOMATED DESIGNING
ON THE EXAMPLE OF THE PROBLEM OF SPLITTING VLSI**

The paper considers conduct computational experiments in making decisions for the graph models in CAD. discusses research methods aided design algorithms for the problem of VLSI placement. Recently research objectives algorithms to determine the optimal parameters for which algorithms are global or close to it solutions (maxima) in the minimum time, and the proof of their efficiency (optimality), compared with similar algorithms. The stages of experimental studies. Before starting the experiments necessary to determine the order of their execution, due to optimal planning with minimal cost to get all the information about the objects of study. For complex testing of algorithms inspired by nature was considered an example of a specialized program sreday. Its main purpose is to obtain a numerical analysis of integral effectiveness evaluations set of algorithms for decision-making in CAD.

Computer-aided design; VLSI design; algorithm; optimum; computational experiments; graph models; decision making.

Введение. Особенностью проектирования ЭВА является большая область поиска решения. По этой причине существует проблема, связанная с огромным числом возможных проектных решений, которые необходимо исследовать, чтобы выбрать решение, которое бы отвечало входным требованиям [1–5].

Сущность проводимых вычислительных экспериментов при принятии решений для графовых моделей в САПР заключается в: запуске комплекса алгоритмов на одной конкретной задаче, с последовательным включением всех разработанных эвристик и определением значений улучшаемых параметров. Это позволяет оценить эффективность используемых в алгоритмах методик оптимизации поиска; запуске алгоритмов на некоторых стандартных тестах с последующим сравнением полученных результатов с уже имеющимися для данной задачи (бенчмарками), просчитанными на каком-либо другом алгоритме. Это позволяет оценить практическую эффективность алгоритма и подсистемы в целом. Рассмотрим проведение и результаты вычислительных экспериментов, а также сравнительные количественные и качественные характеристики для задач принятия решений на графовых моделях, на примере исследования задачи размещения СБИС.

В общем виде задачи размещения неформально можно представить следующим образом. Дано множество элементов, находящихся в отношении связности, в соответствии с принципиально-электрической схемой создаваемого объекта. Требуется разместить элементы внутри коммутационного пространства, таким образом, чтобы заданная целевая функция достигала локального или оптимального значения [1, 2, 7].

На прямоугольную конструкцию накладывается декартова система координат с осями s и t , определяющая граф G_r , представляющий собой координатную решетку.

Задача размещения сводится G_r к отображению заданного графа-модели $G = (X, U)$ схемы в решетку таким образом, чтобы множество вершин $X = \{x_i\}$, $i = \overline{1, n}$, графа G размещалось в узлах решетки, число которых конечно, а также соблюдался интегрированный критерий $Compl(G)$, представляющий собой интегрированную ЦФ [1, 2, 7, 9]:

Требование оптимизации: $Compl_Kr(G) \rightarrow \min$, т.е. необходимо, чтобы весовая функция была наименьшей для всевозможных способов отождествления вершин графа и узлов решетки. Интегрированные критерии косвенно связаны с критерием суммарной длины соединений. Они получили распространение в существ-

вующих эвристиках размещения. При использовании этих критериев происходит учет тепловой и электромагнитной совместимости элементов, повышается эффективность.

Цель экспериментального исследования. Целью исследования алгоритмов является определение оптимальных параметров, при которых алгоритмы находят глобальные или близкие к нему решения (максимумы) за минимальное время работы по сравнению с ПГА, а также доказательство их эффективности (оптимальности), по сравнению с аналогичными алгоритмами, что может быть доказано путём [3–10]:

- ◆ теоретического исследования, т.е. сравнения оценок временной сложности алгоритмов (ВСА);
- ◆ экспериментального исследования, т.е. путём проведения экспериментов и сравнения полученных данных.

Алгоритм как объект разработки, с одной стороны, и средство решения некоторой задачи, с другой – является таким же предметом исследования, как и те объекты, для работы с которыми он предназначен. С прикладной точки зрения пользователя интересуют такие характеристики, как:

- ◆ какое качество решения может обеспечить алгоритм;
- ◆ сколько времени займет решение поставленной задачи.

Соответствующими характеристиками алгоритма являются его точность и вычислительная сложность [1–4].

Объективная мера временной сложности алгоритма должна быть машинно- и программно-независимой. Время реализации алгоритма является функцией размерности задачи. В общем случае размерность может характеризоваться массивом параметров, в частном – скаляром. Наиболее часто размерностью является массив – {число вершин графа; число его ребер; среднее значение локальной степени вершины}.

Широко используется асимптотическая оценка вычислительной сложности алгоритма типа $O(n)$.

Эффективность алгоритма определяется качеством получаемого в ходе его работы решения. В общем случае эффективность определяется сравнением найденного решения с оптимальным [2]. Для адекватного сравнения используются стандартные оценки по производительности различных систем (бенчмарки), предоставленные ведущими фирмами мира.

Этапы вычислительных экспериментов. Перед началом экспериментов необходимо определить порядок их проведения, чтобы за счёт оптимального планирования с минимальными затратами получить всю информацию относительно объектов исследования.

Для обеспечения объективности необходимо провести серию экспериментов, используя различные тестовые функции. Вычислительные эксперименты состоят из следующих этапов:

- ◆ проведение серии экспериментов для фиксированных значений общих параметров и изменяемых дополнительных для каждого алгоритма;
- ◆ снятие экспериментальных данных и получение среднего значения целевой функции, являющейся результатом решения задачи при использовании конкретного алгоритма;
- ◆ определение параметров алгоритмов, при которых решение задачи наиболее оптимально и возможно.

Таким образом, для подтверждения теоретических оценок временной и пространственной сложности алгоритма необходимо:

а) исследование зависимости быстродействия алгоритмов и требуемой памяти от размерности исходной схемы для решения многокритериальной задачи размещения СБИС;

б) исследование зависимости быстродействия алгоритмов и требуемой памяти от значения общих параметров генетического алгоритмов таких, как:

- ◆ размер начальной популяции;
- ◆ вероятность кроссинговера, вероятность мутации;
- ◆ значение критерия останова вычисления оптимального решения (количество поколений);

в) проведение серии экспериментов для блока модифицированных генетических операторов;

г) проведение серии экспериментов при фиксированных значениях общих параметров алгоритмов;

д) определение параметров алгоритмов, при которых решение задачи размещения СБИС наиболее оптимально как по качеству решения, так и по времени его получения.

Для проведения объективных тестовых испытаний используется генератор случайных и направленных моделей. На вход генератора поступают управляемые параметры. Для составления достоверных выводов проводилась серия опытов-экспериментов. При обработке экспериментальных данных важной задачей является определение (идентификация) закона распределения, к которому можно отнести полученные данные. Если частота наблюдаемых событий близка к величине, предсказываемой теорией, то в дальнейшем можно строить модель исходных или ожидаемых событий на основе теоретического распределения, т.е. упрощается проблема дополнительной генерации необходимого количества данных.

Для СППР в САПР общей совокупностью являются всевозможные множества произвольных объектов. Для проведения экспериментов выбирался минимально-возможный объем выборки, который обеспечил минимальные затраты машинного времени. Среди свойств распределения одной случайной величины наиболее важными являются: положение кривой распределения случайной величины; степень рассеяния значений случайной величины относительно указанного значения; степень изменения гистограммы.

Для комплексного тестирования инспирированных природой алгоритмов была реализована специализированная программная среда [7, 8, 10]. Основное её предназначение заключается в получении при помощи различных методов анализа интегральных численных оценок эффективности набора алгоритмов для принятия решений в САПР. В основу программной среды была положена следующая идея: Для тестирования комплекса алгоритмов необходимы три основных компонента: генератор параметров задачи; решатель задачи; анализатор, тестирующий алгоритм и выдающий некоторую интегральную численную оценку его эффективности. Каждый компонент может быть реализован по-разному, то есть иметь различные варианты своей реализации. В программе предложен следующий набор различных вариантов описанных элементов. Это генераторы параметров задачи. Здесь параметры задачи генерируются случайным образом или принимаются от другой программы по заранее заданному протоколу передачи данных. Вторым основным блоком являются решатели задач, реализующие простой генетический алгоритм принятия решений. При его настройке можно задавать различные целевые функции, а также другие параметры алгоритма, такие например, как вероятности применения используемых операторов и т.д. Кроме того, используется решатель, позволяющий, путём обмена информацией с другой программой по заранее заданному протоколу обмена данными получать решение задачи. Другими слова-

ми, он обеспечивает интерфейс между компонентами программной среды и сторонними программами, решающими задачи. Данная программная среда позволяет неограниченно расширять набор тестируемых алгоритмов. Третьим блоком являются анализаторы, тестирующие алгоритмы и выдающие некоторую интегрированную численную оценку их эффективности в интервале $[0, 1]$.

Рабочие окна программы показаны на рис. 1, 2. Главное окно разбито на четыре блока: меню, рабочее поле, схема, алгоритм.

Сначала формируется модель схемы, являющаяся начальным размещением элементов (запись в порядке следования их номеров, то есть каждому номеру ячейки рабочего поля соответствует элемент с точно таким же номером). Далее производятся настройки бионического алгоритма.

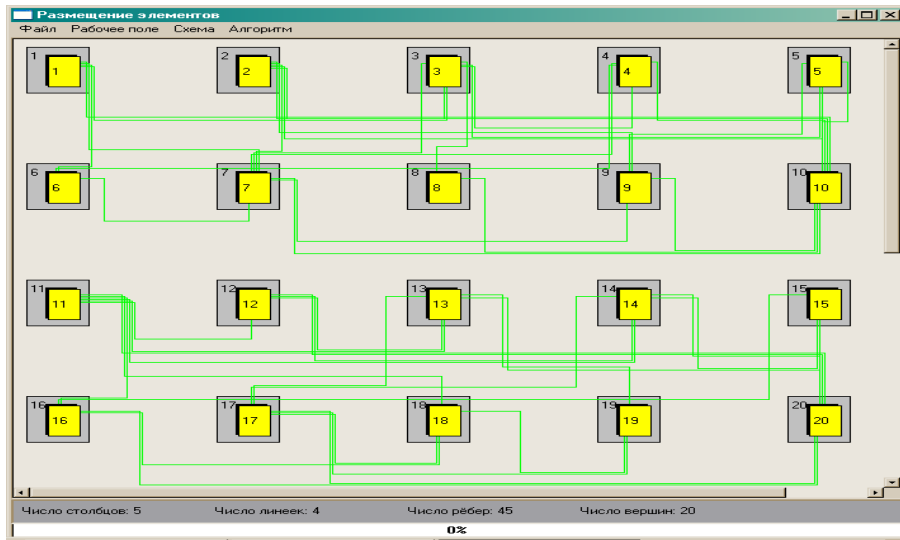


Рис. 1. Главное окно программы

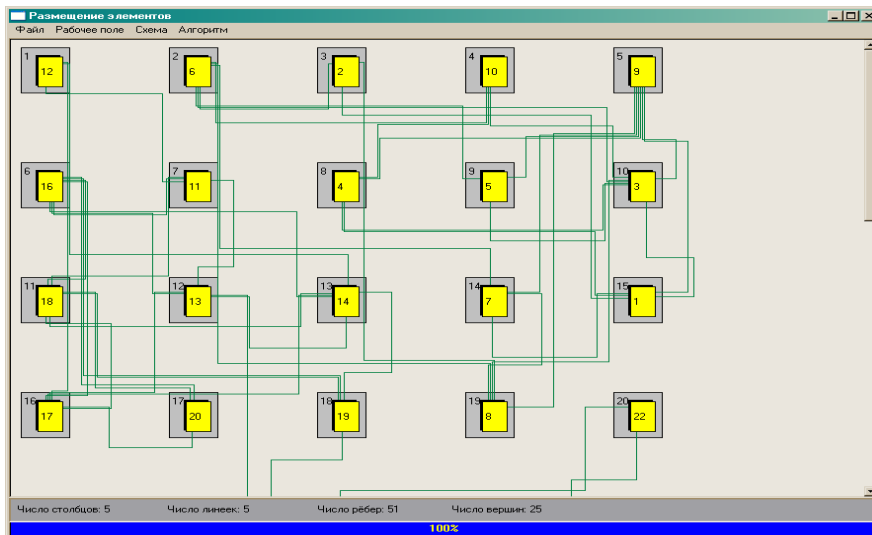


Рис. 2. Результат работы алгоритма

В качестве изменяемых параметров выступают вероятности операторов, численность общей популяции, число итераций поиска. После нескольких запусков алгоритма получается окончательное размещение, выводится график работы бионического алгоритма. Помимо результата работы бионического алгоритма дается статистика: число элементов схемы, общая длина цепей (начальная и конечная), время работы алгоритма.

Проведем исследование зависимости времени получения решения от числа элементов. Данные экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость времени получения решения от числа элементов

№	Число элементов	Начальное значение ЦФ	Время решения, t, с.	Окончательное значение ЦФ
1	200	299	1	243
2	400	1502	20	1402
3	600	3060	30	2600
4	800	5359	30	4526
5	1000	7977	36	6786
6	1500	19991	70	17742
7	2500	75481	224	68291
8	3000	94783	230	87638

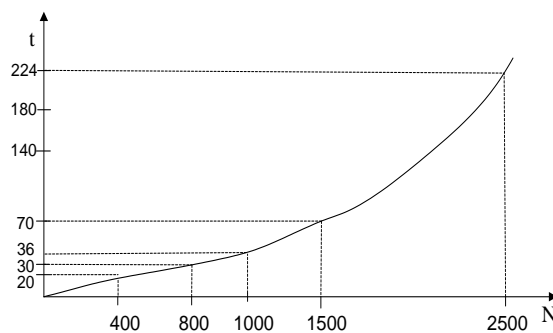


Рис. 3. График зависимости времени решения от числа элементов

Проанализируем влияние размера популяции решений на получаемые результаты. При этом будем варьировать вероятность всех операторов, а также менять количество итераций бионического алгоритма размещения. Построим следующую табл. 2, в которой приведем результаты проведенных экспериментов.

В первом столбце указываются номера проведенных экспериментов, во втором – количество элементов схемы. В третьем столбце указан размер популяции, в четвертом – количество итераций, в пятом – шестом отмечена вероятность применения операторов в процентах. Седьмой и восьмой столбцы показывают время, затраченное на получение лучшего решения, и значение целевой функции (ЦФ).

По результатам экспериментов, сведенных в табл. 2, построим график зависимости времени (t) получения наилучшего значения при минимизации ЦФ от количества итераций N_i . (рис. 4). Из графика следует, что время решения находится в полиномиальной (близкой к квадратичной) зависимости от числа генераций.

Таблица 2

Результаты и данные размещения на плоскости

№	N	Np	Ni	рок	ром	БА	
						t	ЦФ
1	500	500	1000	25	15	26	6405
2	500	400	900	26	10	19	6379
3	500	300	800	27	9	14	6370
4	500	200	700	28	8	9	6200
5	500	100	600	29	7	3	6150

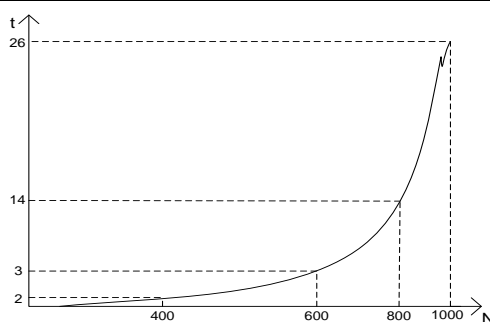


Рис. 4. График зависимости времени решения от числа итераций

Эксперименты показали, что при размещении СБИС на рабочем пространстве использование модифицированных ГО, нестандартных методов поиска и комбинированных моделей эволюции позволяет получать набор оптимальных решений. При этом с большой вероятностью среди этих решений может быть найден глобальный экстремум. Из проведенных экспериментов следует, что в общем случае время решения линейно зависит от количества генераций и ВСА приближенно $O(n \log n) - (n^3)$). Анализ экспериментов позволяет отметить, что инспирированные природой алгоритмы требуют больших затрат времени, но позволяют получать набор локально-оптимальных решений, в частном случае – оптимальных решений.

В заключение следует отметить, что для оценки эффективности программно-алгоритмического комплекса поддержки эволюционного моделирования, определяются закономерности сходимости процессов поиска решений, проводится анализ и определяются зависимости эффективности применения различных генетических операторов от внешних условий, даются рекомендации по эффективному применению разработанного программно-алгоритмического комплекса, а также предложения по его дальнейшему развитию и совершенствованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 448 с.
2. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев В.Б.* Планирование сверхбольших интегральных схем на основе интеграции моделей адаптивного поиска // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 84-101.
3. *Gladkov L.A, Kureichik V.V., Kravchenko Yu.A.* Evolutionary Algorithm for Extremal Subsets Comprehension in Graphs // World Applied Sciences Journal. – 2013. – № 24 (14).
4. *Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И.* Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 16-25.

5. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Гибридный алгоритм разбиения на основе природных механизмов принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – С. 3-15.
6. Курейчик В.М. Модифицированные генетические операторы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12 (101). – С. 7-14.
7. Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 92-98.
8. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Биоинспирированный алгоритм разбиения схем при проектировании СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 23-29.
9. Гладков Л.А. Гибридный генетический алгоритм решения задачи размещения элементов СБИС с учетом трассируемости соединений // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 58-66.
10. 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* [Bases of the automated designing]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.Eh. Bauman, 2006, 448 p.
2. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev V.B. *Planirovanie sverkhbolshikh integralnykh skhem na osnove integracii modeley adaptivnogo poiska* [Planning of very large scale integrated circuits on the basis of integration models adaptive search], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Theory and control system], 2013, No. 1, pp. 84-101.
3. Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kravchenko Yu.A. Evolutionary Algorithm for Extremal Subsets Comprehension in Graphs, *World Applied Sciences Journal*, 2013, No. 24 (14).
4. Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I. *Kontseptsiya evolyutsionnykh vychisleniy, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami* [The concept of evolutionary computation, inspired by natural systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4, pp. 16-25.
5. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. *Gibridnyy algoritm razbieniya na osnove prirodnykh mekhanizmov prinyatiya resheniy* [Hybrid partitioning algorithm based on natural mechanisms of decision making], *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2012, pp. 3-15.
6. Kureychik V.M. *Modifitsirovannye geneticheskie operatory* [Modified genetic operators], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 12 (101), pp. 7-14.
7. Kureychik V.M. *Osobennosti postroeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy* [Features of construction of systems of support of decision making], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 92-98.
8. Kureychik V.V., Kureychik V.V. *Bioinspirirovanny algoritm razbieniya skhem pri proektirovanii SBIS* [Biospherology partitioning algorithm of schemes in the design of VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 23-29.
9. Gladkov L.A. *Gibridnyy geneticheskiy algoritm resheniya zadachi razmeshcheniya elementov SBIS s ucetom trassiruемости soedineniy* [Hybrid genetic algorithm for solving the problem of placing of elements of VLSI with regard to traceability connections], *Vestnik rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobsheniya* [Herald Rostov State University Railway], 2011, No. 3, pp. 58-66.
10. Kuliev E.V., Lezhebokov A.A. *Issledovanie kharakteristik gibridnogo algoritma razmeshcheniya* [Investigation of characteristics of hybrid algorithm for accommodation], *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.

Щеглов Сергей Николаевич – Южный федеральный университет; e-mail: srg_sch@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Shcheglov Sergey Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: srg_sch@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371625; the department of computer aided design; associate professor.