

УДК 621.3.049.771

DOI: 10.15827/2311-6749.17.3.1

РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ТРАНСВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГИБРИДНОГО ПОИСКА

(Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-07-00997)

О.Б. Лебедев, к.т.н., доцент, lebedev.ob@mail.ru; Н.В. Кулиева, аспирант, elmar_2005@mail.ru; А.Н. Нацкевич, аспирант, beginofmyworld@gmail.com;

А.А. Нагабедян, студент, andrewnagabedyan@yandex.ru

(Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, ул. Энгельса, 1, г. Таганрог, 347928, Россия)

В статье представлен алгоритм решения задачи размещения компонентов интегральных схем, основанный на адаптивных процедурах. Предлагается алгоритм размещения, в основе которого лежит моделирование адаптивного поведения пчелиной колонии. Описана гибридная схема поиска решений задачи размещения на основе разработанных алгоритмов, которая позволяет управлять процессом поиска для повышения качества получаемых решений. Также в статье описаны способы кодирования и декодирования решений.

Ключевые слова: трансвычислительная задача, размещение, моделирование эволюции, генетический алгоритм, гибридный поиск, кодирование, декодирование.

На сегодняшний день наиболее эффективным направлением в эволюционном моделировании являются вероятностные алгоритмы, основанные на процессах живой природы. Сопоставляя известные закономерности окружающего мира с некоторыми сферами человеческой деятельности, мы можем получить эффективный инструмент для решения трансвычислительных задач.

Методы и алгоритмы для решения трансвычислительной задачи разрабатываются уже не один десяток лет. Актуальность работы связана с тем, что эта задача является NP-полной и разработать алгоритм, который позволит получать оптимальное и при этом точное решение за приемлемое время, очень сложно [1, 2]. Появление суперкомпьютеров, имеющих мощные ресурсы для вычислений, а также повышенные требования к проектируемым устройствам являются главными причинами исследования и разработки новейших методов и алгоритмов для решения поставленной задачи.

Самоорганизующиеся системы можно описать с помощью роевого интеллекта. Системы роевого интеллекта являются многоагентными; каждый агент взаимодействует с остальными агентами и с окружающей средой. Сами агенты примитивны, но все вместе, при локальном взаимодействии, создают так называемый роевой интеллект. Примером в природе могут служить рой пчел, стая птиц, колония муравьев [1, 3, 4].

В статье рассматривается одна из основных трансвычислительных задач – задача размещения. Описывается гибридный алгоритм поиска решений для задачи размещения компонентов *сверхбольших интегральных схем* (СБИС). Разработанный алгоритм представляет собой композицию сразу трех алгоритмов: алгоритма на основе поведения колонии пчел, модифицированных *генетического* (ГА) и *эволюционного* (ЭА) алгоритмов.

Основу поведения пчелиного роя составляет самоорганизация, обеспечивающая достижение общих целей роя на основе низкоуровневого взаимодействия. Основная идея парадигмы пчелиной колонии заключается в использовании двухуровневой стратегии поиска [1, 3, 4]. На первом уровне с помощью пчел-разведчиков формируется множество перспективных областей, на втором уровне с помощью пчел-фуражиров осуществляется исследование окрестностей данных областей. Цель пчелиной колонии – найти источник, содержащий максимальное количество нектара. Также в статье представлен способ кодирования-декодирования найденных решений методами эволюционных вычислений.

Роевой алгоритм размещения

Задача размещения включает в себя описание расположения элементов относительно друг друга на плоскости с учетом заданных критериев. На их основе формируется *целевая функция* (ЦФ). Сформулируем задачу размещения. Есть множество элементов и множество позиций на *коммутационном поле* (КП) [1, 3, 4]. Нужно распределить элементы по позициям с учетом критериев так, чтобы ЦФ имела наиболее приближенное к оптимальному значение. Моделью представления цепи является звездный граф. Центром графа будет вершина, которая ближе всех расположена к геометрическому центру области, описывающей все вершины графа.

В предложенном алгоритме все решения являются точками (позициями) x_s в многомерном пространстве, а координаты позиции x_i – параметром функции F_s , которую необходимо оптимизировать. Все позиции сопоставляются с источниками нектара. Общий объем нектара, который содержится в источнике, можно определить координатами соответствующей позиции. Значение ЦФ в каждой точке будет равно количеству найденного нектара.

Основной идеей поведенческой модели самоорганизации колонии пчел является разработка методов и механизмов

- формирования роя агентов-разведчиков и роя агентов-фуражиров;
- поиска перспективных позиций разведчиками;
- выбора базовых позиций среди перспективных для исследования их окрестностей;
- передачи информации между разведчиками и фуражирами;
- выбора фуражирами базовых позиций;
- выбора фуражирами позиций в окрестности базовой позиции;
- общей структуры оптимизационного процесса [2].

Рассмотрим организацию поисковой процедуры на основе моделирования адаптивного поведения пчелиной колонии.

Ввод схемы и параметров алгоритма. Посадочные места под компоненты имеют фиксированные габариты в виде прямоугольников. Вначале вводятся параметры полей x и y , где x – количество посадочных мест по горизонтали, y – количество посадочных мест по вертикали, после чего инициализируется количество деталей, размещенных в этих ячейках. Количество посадочных мест должно быть меньше количества компонентов. Также формируется матрица связности. В нашем случае можно генерировать матрицу связности случайным образом (*random*) или выбрать корректировку в ручном режиме. В матрице связности определяется привязка компонентов к посадочным местам. Схема генерируется случайным образом, поскольку не стоит задача связать программу с какой-то конкретной схемой. Вводим данные для биоинспирированного алгоритма: количество итераций, число разведчиков и фуражиров (пчелы-сборщики) [5].

Разведчики формируют случайные решения R . Выдвигаясь из улья, они генерируют строку решений для всех ЦФ в поисковой области. Затем прилетают обратно в улей, чтобы сообщить пчелам-фуражирам о полученных решениях. Для данной задачи минимальное число связей элементов – это значение ЦФ. После этого в зависимости от значения ЦФ начинают действовать фуражиры. Полный процесс формирования показан на рисунке 1.

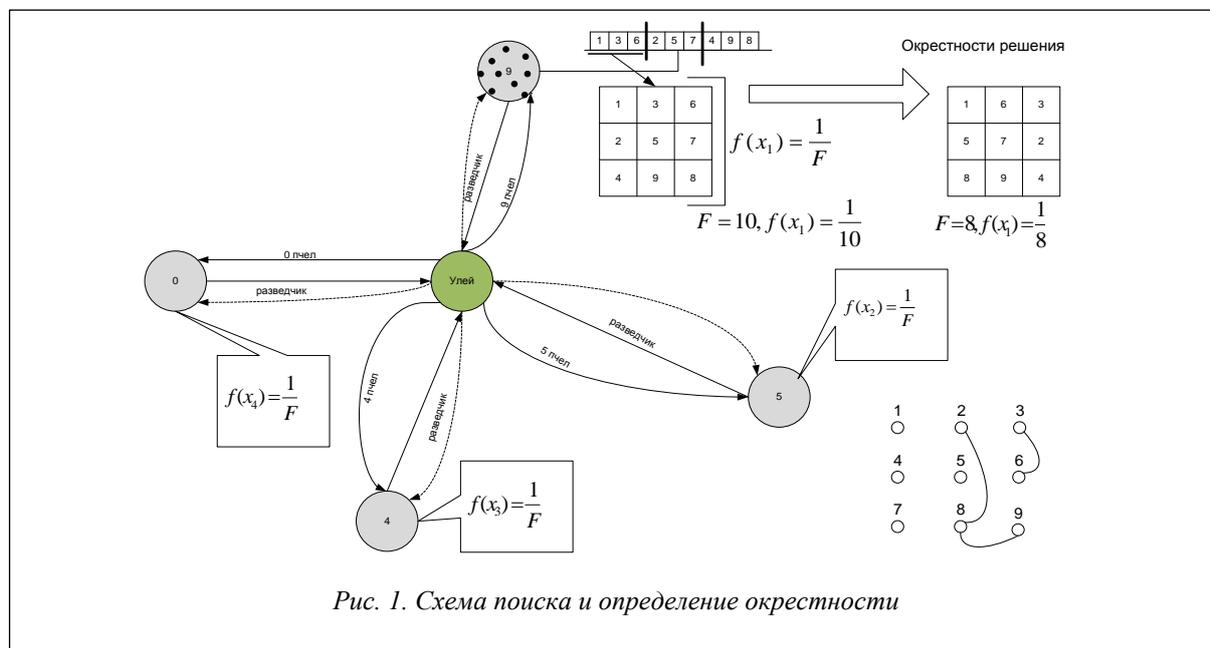


Рис. 1. Схема поиска и определение окрестности

Опишем схему работы роевого алгоритма. Количество итераций определяется с помощью исходных данных. После выполнения последней итерации все наилучшие значения записываются. Затем производится поиск решений в окрестностях найденных точек. Пчелы-фуражиры, как только покинут улей, направляются на обследование окрестностей предположительных точек решений, производя при этом поиск наилучшего решения ЦФ в новых точках.

Формирование решений F в найденных окрестностях. После поиска в окрестностях формируются лучшие решения. Минимальное значение ЦФ будет главным критерием отбора найденных решений.

Затем выводится лучшее решение. После проведения поиска лучшего решения ЦФ строится матрица смежности для найденных решений и осуществляется возврат к итерации по поиску решений. Количество решений зависит от количества итераций [5, 6].

Запись лучшего найденного результата за все пройденные итерации. После получения лучшего решения ЦФ результат записывается в матрицу связности и решение выводится на схему. Полученное решение отображается графически с помощью размещения компонентов (деталей в посадочных местах), то есть элементы, размещенные ранее, перераспределяются и устанавливаются на новые посадочные места, которые уже были размещены на коммутационном поле.

Схема гибридного поиска

Во время разработки алгоритма использовался комбинированный подход, результатом которого является новый гибридный алгоритм, который вобрал в себя три использованных алгоритма, это гибридный алгоритм размещения элементов СБИС. Он представляет собой композицию сразу трех алгоритмов: алгоритма, основанного на поведении колонии пчел, ГА и ЭА. Основной идеей является разбиение процесса поиска на два этапа. Первый этап основан на пчелином алгоритме, который включает в себя нахождение областей с потенциально высоким значением ЦФ и строительство окрестности последующего поиска на основе полученных значений. На первой итерации множество решений генерируется автоматически. Второй этап включает в себя процесс нахождения множества решений для всех окрестностей. Окрестность – это совокупность альтернативных решений из заданной области. ЭА осуществляет поиск по каждой окрестности. В отличие от ГА данный подход работает только на основе оператора мутации, который требует меньше времени на выполнение. В конце работы ЭА производится проверка на выполнение всех условий. Если хотя бы одно решение, полученное во время работы ЭА, удовлетворяет условиям, данное решение записывается в буфер решений. Если получено несколько решений, перемещается только одно – лучшее решение. В противном случае для рассматриваемой окрестности инициализируется ГА с теми же стартовыми условиями, что и ЭА. Предложенный алгоритм имеет большую вычислительную сложность, но обеспечивает появление качественно новых оптимальных решений [6].

Укрупненная схема работы разработанного механизма поиска показана на рисунке 2.

Для начала работы ГА и ЭА генерируется начальная популяция решений. Существуют три известные стратегии создания начальной популяции: «одеяло», «дробовик», «фокусировка» [5]. Для описываемого алгоритма использована стратегия «фокусировка» для формирования начальной популяции решений, так как полученная на этапе работы пчелиного алгоритма окрестность является множеством решений для заданной области.

Кодирование решения

В представленном алгоритме все решения являются хромосомами, описываемыми линейной последовательностью генов. Хромосома соответствует определенному упорядочению вершин гиперграфа, описывающего схему проектируемого устройства. При этом размер хромосомы (то есть количество генов в ней) будет равно числу вершин в графе [2].

На рисунке 3 представлена структура хромосомы, используемая для перехода от хромосомы к размещению элементов на дискретном рабочем поле. Размер хромосомы 12, что равно числу элементов схемы, при этом размер дискретного рабочего поля задачи размещения – 4 на 3 ячейки. Хромосома разбивается на участки, формирующие в будущем наше дискретное рабочее поле. Значение гена представляет собой нумерацию элементов в схеме, которые размещаются в ячейках в соответствии с номером гена. Каждое новое решение является очередной перестановкой вершин. Представленный способ кодирования хромосомы является самым распространенным, но для выбранного критерия решения задачи в работе представлен новый, более эффективный подход к кодированию хромосомы, учитывающий реальные топологические

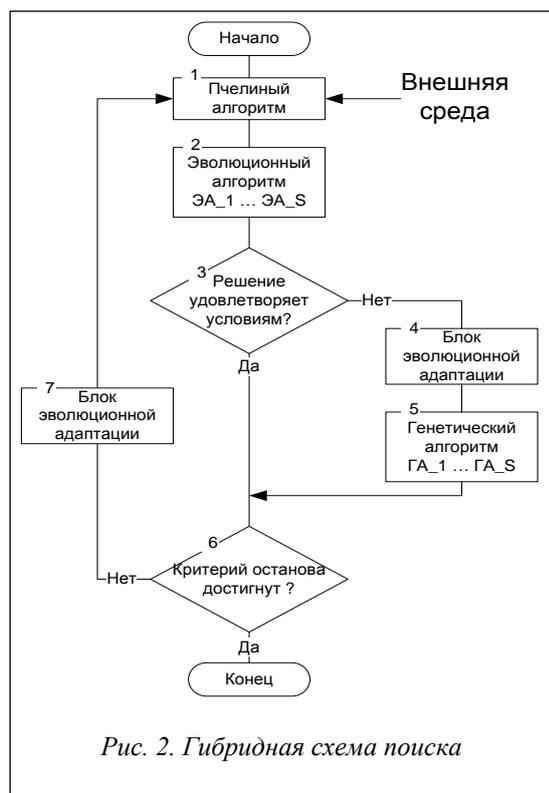


Рис. 2. Гибридная схема поиска

цию элементов в схеме, которые размещаются в ячейках в соответствии с номером гена. Каждое новое решение является очередной перестановкой вершин. Представленный способ кодирования хромосомы является самым распространенным, но для выбранного критерия решения задачи в работе представлен новый, более эффективный подход к кодированию хромосомы, учитывающий реальные топологические

параметры схемы. На рисунке 3 представлен способ кодирования хромосомы, являющийся очень простым в реализации, но при этом эффективным для метрических критериев решения задачи размещения.

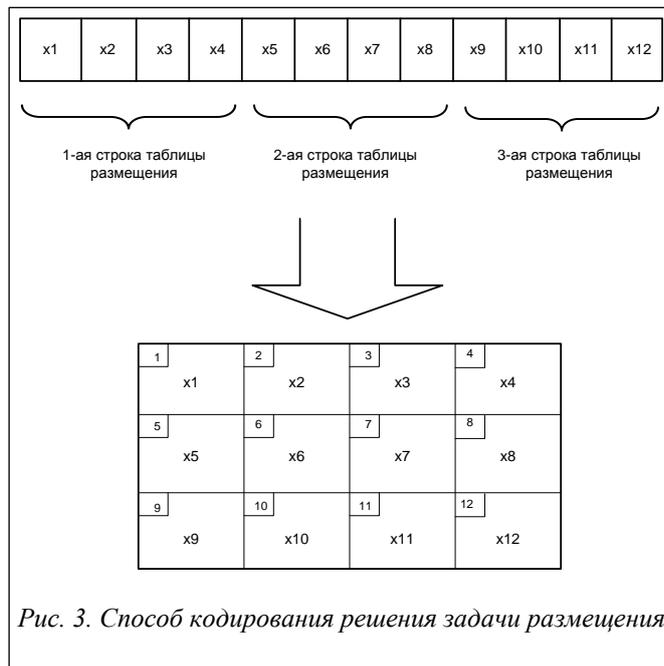


Рис. 3. Способ кодирования решения задачи размещения

Предлагаемый подход кодирования хромосом для поставленной задачи в следующем. Для каждого гена в хромосоме ставится в соответствие определенный статус:

- фиксированный элемент (позиция элемента, который кодируется текущим геном, является постоянной; в процессе выполнения генетических операторов ген не меняет своего значения, то есть положения в решетке);
- свободный элемент (элемент, который не инцидентен ни одной цепи, такие элементы размещаются в последнюю очередь);
- максимально-связный элемент (элемент с максимальной локальной степенью);
- элемент цепи критического пути (элемент, который принадлежит цепи, входящей в критический путь схемы).

Статусы генов позволяют наиболее эффективно производить процесс декодирования. В процессе декодирования не участвуют перемещаемые и свободные элементы. Все элементы критического пути размещаются максимально близко друг к другу (если позволяют параметры, критический путь можно выстроить в одну линию). Все последующие элементы располагаются так же, как и в представленном на рисунке 3 методе кодирования.

воляют параметры, критический путь можно выстроить в одну линию). Все последующие элементы располагаются так же, как и в представленном на рисунке 3 методе кодирования.

Декодирование решений

Самой значимой областью исследований является нахождение места и числа точек разрыва хромосомы для дальнейшего выполнения операторов скрещивания или мутации. Нужно учитывать, что большое количество разрывов может лишить нас лучших решений, а небольшое число чаще всего приводит к попаданию в локальный оптимум. Решение этой задачи является актуальной частью проводимых исследований [4, 7, 8].

Рассмотрим оператор кроссинговера (ОК). Он представляет собой основу генетических операторов и формирует новые хромосомы (решения задачи) при помощи скрещивания двух хромосом родителей. Значение вероятности выживания потомков после применения классического ОК сильно уменьшается при увеличении размерности задачи, а следовательно, и количества генов в хромосоме. Для решения данной проблемы используется многоточечный ОК с классической схемой формирования точек кроссинговера. Предлагаемый подход заключается в разработке проблемно-ориентированного ОК, который основывается на знаниях о решаемой проблеме, когда формируются точки скрещивания.

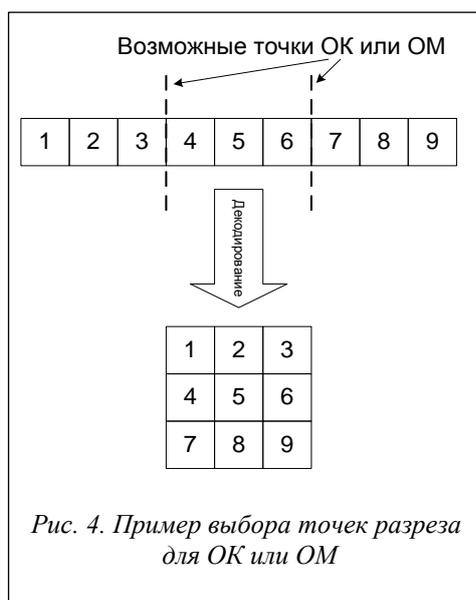


Рис. 4. Пример выбора точек разреза для ОК или ОМ

В данной статье решения задачи размещения с описанной методикой кодирования хромосом генерируются случайные точки разреза в местах (генах) перехода на новую строку решетки. Идентичным образом выбираются точки разреза при выполнении оператора мутации (ОМ).

На рисунке 4 представлен пример выбора точек разреза для ОК или ОМ.

Для хромосом большой размерности используются операторы с множеством точек разреза. Вероятность выживания хромосомы-потомка после выполнения модифицированного одноточечного проблемно-ориентированного ОК (ПООК) выражается с помощью формулы (L – длина хромосомы, N – число участков между точками скрещивания) [3]:

$$P(s)[\text{ПООК}] = 1 - \frac{N}{L-1}.$$

Экспериментальные исследования

Были проведены исследования по определению эффективности предложенного способа кодирования решений и выбора точек разреза для модифицированных генетических операторов.

Проведена серия экспериментов для разного набора тестовых примеров, различающихся количеством элементов в схеме. Для каждого алгоритма на каждом тестовом примере было произведено 10 запусков и на их основе определено среднее время работы алгоритма и среднее качество полученных решений. Усредненные результаты экспериментов отражены в таблице.

Зависимость качества ЦФ от способа кодирования

Число элементов / алгоритм	100000	200000	300000	400000	500000	600000	700000	800000	900000	1000000
Эволюционный	5857	7890	16463	25172	32803,5	40852,4	48901,3	56950,2	64999,1	73048
Генетический	5198	7745	16547	26855	34553,5	43145,2	51736,9	60328,6	68920,3	77512
Пчелиный	4735	7452	15445	24895	32035	39953,3	47871,6	55789,9	60708,2	70026,5
Гибридный	4120	7275	15171	23248	30273,5	37701,5	45129,5	52557,5	59985,5	67413,5

На рисунке 5 отображена зависимость качества значений ЦФ от используемого способа кодирования решений.

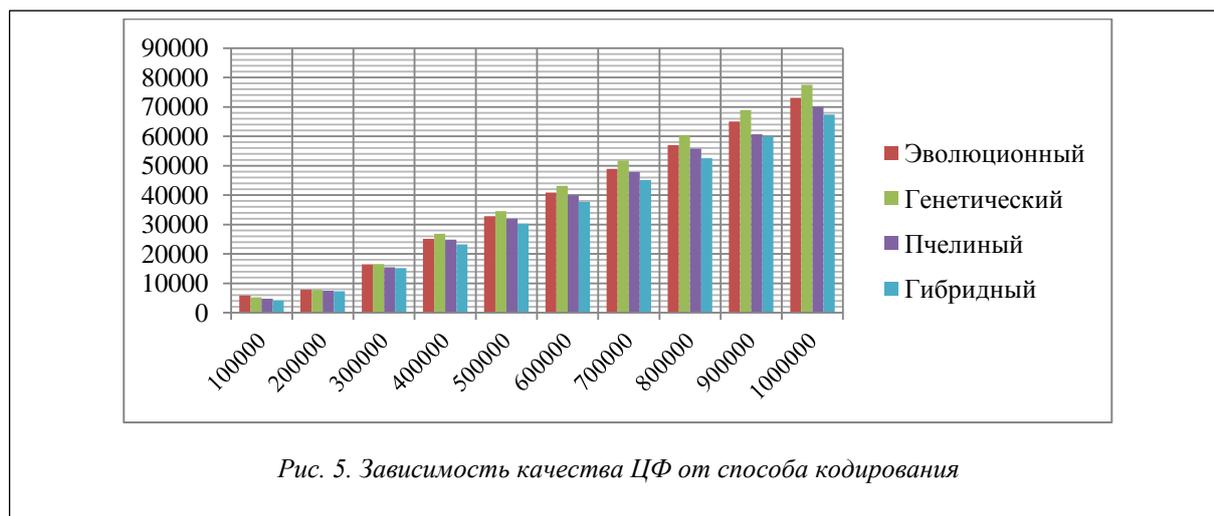


Рис. 5. Зависимость качества ЦФ от способа кодирования

Заключение

На основе сравнительного анализа существующих подходов и методов для решения рассматриваемой задачи размещения использованы мультиагентные методы интеллектуальной оптимизации, базирующиеся на моделировании адаптивного поведения пчелиной колонии. В работе задача размещения представлена в виде гибридного алгоритма, включающего в себя роевой интеллект, ГА и ЭА.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что предложенный способ кодирования эффективнее классического подхода на 14–18 %. Использование предложенного подхода к кодированию в совокупности с гибридной схемой поиска позволяет эффективно управлять поиском и получать квази-оптимальные решения за полиномиальное время.

Литература

1. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Методы размещения: монография. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. С. 78–80.
2. Лебедев Б.К., Лебедев В.Б., Лебедев О.Б. Методы, модели и алгоритмы размещения: монография. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2015. 150 с.

3. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Кравченко Ю.А. Роевой алгоритм поисковой оптимизации на основе моделирования поведения летучих мышей // Изв. ЮФУ: Технич. науки. 2016. № 7. С. 53–62.
4. Лебедев Б.К., Кулиев Э.В., Холопова Н.В. Генетический алгоритм разбиения с учетом принципов биогеографии. Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2015. № 3. С. 1–9.
5. Лебедев В.Б., Лебедев О.Б. Роевой интеллект на основе интеграции моделей адаптивного поведения муравьиной и пчелиной колонии // Изв. ЮФУ: Технич. науки; Тематич. вып.: Интеллектуальные САПР. 2013. № 7. С. 41–47.
6. Lebedev B.K., Lebedev V.K., Kudryakova T.Y. Mechanisms of Adaptive Ant Colony Behavior in Placement Problem. Advances in Intelligent and Computing. Proc. of the I Intern. Sc. Conf. ITI'16. Springer, Czech Republic, 2016, vol. 1, pp. 443–451.
7. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Дуккардт А.Н. Подход к исследованию окрестностей в роевых алгоритмах для решения оптимизационных задач // Изв. ЮФУ: Технические науки, 2014. № 7. С. 15–25.
8. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А. Исследование характеристик гибридного алгоритма размещения // Изв. ЮФУ: Технические науки. 2013. № 3. С. 255–261.
9. Неупокоева Н.В., Курейчик В.М. Квантовые и генетические алгоритмы размещения компонентов ЭВА: монография. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. 144 с.
10. Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Современные проблемы при размещении элементов СБИС // Изв. ЮФУ: Технич. науки; Тематич. вып. Интеллектуальные САПР. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. № 7. С. 68–73.
11. Курейчик В.М. Кажаров А.А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Изв. ЮФУ: Изв. ЮФУ: Технич. науки; Тематич. вып. Интеллектуальные САПР. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. № 7. С. 30–37.