

8. *John L. Pollock*. Natural Deduction. Technical Report, Department of Philosophy, University of Arizona, Tucson, 1996. – 35 p.
9. *John L. Pollock*. Defeasible reasoning with variable degrees of justification // *Artificial Intelligence*. – 2001. – Vol. 133. – P. 233-282.
10. *Haenni R., Kohlas J., Lehmann N.* Probabilistic Argumentation Systems, Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems, Dordrecht: Vol. 5: Algorithms for Uncertainty and Defeasible Reasoning, Kluwer. – 1999. – P. 221-287.
11. *Gerard A.W. Vreeswijk*. Interpolation of Benchmark Problems in Defeasible Reasoning // *WOCFAI*. – 1995. – P. 453-468.

## REFERENCES

1. *Philippe Besnard and Anthony Hunter*. Elements of argumentation. Cambridge: MIT press, 2008, 298 p.
2. *Bondarenko A., Dung P.M., Kowalski R.A., Toni F.* An abstract argumentation-theoretic framework for defeasible reasoning, *Ibid*, 1997, Vol. 93(1-2), pp. 63-101.
3. *Lin F., Shoham Y.* Argument systems. A uniform basis for nonmonotonic reasoning, *Proc. Of the First Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1989, pp. 245-355.
4. *Vreeswijk G.A.W.* Abstract argumentation systems, *Artificial Intelligence*, 1997, Vol. 90, pp. 225-279.
5. *John L. Pollock*. How to Reason Defeasibly, *Artificial Intelligence*, 1992, No. 57, pp. 1-42.
6. *Vagin V.N., Golovina E.Yu., Zagoryanskaya A.A., Fomina M.V.* Dostovernyy i pravdopodobnyy vyvod v intellektualnykh sistemakh [Reliable and plausible conclusion in intelligent systems]. 2-e izdanie dopolnennoe i ispravlennoe. Moscow: Fizmatlit, 2008, 712 p.
7. *John L. Pollock*. Defeasible Reasoning. Reasoning: Studies of Human Inference and its Foundations, ed. Jonathan Adler and Lance Rips, Cambridge University Press, 2006, pp. 31.
8. *John L. Pollock*. Natural Deduction. Technical Report, Department of Philosophy, University of Arizona, Tucson, 1996, 35 p.
9. *John L. Pollock*. Defeasible reasoning with variable degrees of justification, *Artificial Intelligence*, 2001, Vol. 133, pp. 233-282.
10. *Haenni R., Kohlas J., Lehmann N.* Probabilistic Argumentation Systems, Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems, Dordrecht: Vol. 5: Algorithms for Uncertainty and Defeasible Reasoning, Kluwer. 1999, pp. 221-287.
11. *Gerard A.W. Vreeswijk*. Interpolation of Benchmark Problems in Defeasible Reasoning, *Wocfai*, 1995, pp. 453-468.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.М. Курейчик.

**Моросин Олег Леонидович** – ФБГОУ ВПО «НИУ МЭИ»; e-mail: omorsik@gmail.com; 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14; тел.: +79261158823; кафедра ПМ; аспирант; м.н.с.

**Morosin Oleg Leonidovich** – FBGOU VPO “NIU MPEI”; e-mail: omorsik@gmail.com; 14, Krasnokazarmennaya street, Moscow, 111250, Russia; phone: +79261158823; postgraduate student.

УДК 621.3.06

**В.А. Литвиненко, С.А. Ховансков, Д.Ю. Максютя**

**АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ШТЕЙНЕРА \***

*Предлагается адаптивный алгоритм построения дерева Штейнера на основе построения кратчайшего связывающего дерева Прима и его ортогонализации с использованием решетки Ханана. Для выбора ортогональной реализации ребер дерева Прима используется генетический алгоритм. В разработанном адаптивном алгоритме построения дерева Штейнера используется параметрическая адаптация, которая заключается в выборе значения параметра*

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 14-01-00665).

*адаптации на основе анализа внешних условий решения задачи и информации, хранящейся в базе данных. В качестве внешних условий решения задачи построения дерева Штейнера предложено использовать: размерность задачи; ресурс времени, отведенный на решение задачи, и производительность компьютера, на котором решается задача. В качестве параметра адаптации предложено использовать количество итераций в генетическом алгоритме при применении операций кроссингвера над вариантами реализации ребра дерева Прима. Разработанный адаптивный алгоритм построения дерева Штейнера реализован на языке высокого уровня Java 7.0. Проведены экспериментальные исследования разработанного алгоритма.*

*Адаптивные алгоритмы; дерево Штейнера; решетка Ханана; параметр адаптации; точность решения; размерность задачи; ресурс времени; производительность компьютера; база данных; управление точностью.*

**V.A. Litvinenko, S.A. Hovanskov, D.Yu. Maksyuta**

### **ADAPTIVE ALGORITHM OF THE STEINER'S TREE CREATION**

*In work the adaptive algorithm of creation of a tree of Steiner on the basis of creation of the shortest connecting tree Prima and its orthogonalizations with use of a Hannan's lattice is offered. It is offered to use genetic algorithm for a choice of orthogonal realization of edges of a tree Prima. In the developed adaptive algorithm of creation of a tree of Steiner parametrical adaptation which consists in a choice of parameter of adaptation on the basis of the analysis of external conditions of the solution of a task and information being stored in a database is used. As external conditions of the solution of a problem of creation of a tree of Steiner it is offered to use: dimension of a task; the resource of time which has been taken away on the solution of a task, and also productivity of the computer on which the problem is solved. As the parameter of adaptation it is offered to use number of iterations in genetic algorithm at application of operations of a crossingover over options of realization of an edge of a tree Prima. The developed adaptive algorithm of creation of a tree of Steiner is realized in language of the high Java 7.0 level. Pilot researches of the developed algorithm are conducted.*

*Adaptive algorithms; Steiner's tree; Hannan's lattice; adaptation parameter; decision accuracy; dimension of a task; time resource; computer productivity; database; management of accuracy.*

**Введение.** Программное обеспечение проектных операций САПР ЭВА выполняется при определенных внешних условиях, таких как размерность задачи, требуемая точность решения, ресурс времени, отведенный на решение задачи, а также быстродействие компьютера, на котором выполняется проектная операция.

Адаптация программного обеспечения проектных операций к внешним условиям их выполнения с целью получения наиболее точного решения задачи при заданных ресурсе времени и быстродействии компьютера, на котором решается задача, позволяет повысить эффективность использования их программного обеспечения, за счет оптимизации времени решения задачи, а также использования одного и того же математического и программного обеспечений без их модификации и доработки при увеличении быстродействия компьютерной техники, на которой выполняются проектные операции.

Такая проектная операция как построение ортогонального дерева Штейнера [1, 2] является одной из наиболее часто используемых в алгоритмах проектной процедуры конструкторского проектирования ЭВА – трассировки соединений. В связи с этим работа, посвященная разработке адаптивного алгоритма построения дерева Штейнера, является актуальной.

Задача построения дерева Штейнера является NP-трудной задачей.

Для решения NP-трудных задач в настоящее время предлагаются биоинспирированные и эволюционные [3–5] методы и алгоритмы, основанные на использовании наблюдений за поведением определенных видов простейших организмов, насекомых и животных, а также адаптации и изменения их свойств в процессе эволюции. В [6–8] предлагаются различные методы решения построения дерева Штейнера на основе методов искусственного интеллекта.

В [9–13] развивается подход к управлению точностью решения NP-трудных экстремальных задач на графах, основанный на применении одного из методов искусственного интеллекта – метода параметрической адаптации [14–16], который заключается в выборе значений параметров адаптации в зависимости от внешних условий решения задачи.

Класс адаптивных алгоритмов решения задач NP-трудных задач с управляемой точностью отличается от известных методов и алгоритмов тем, что, без изменения алгоритма и его программы, позволяет получить на используемом компьютере с определенной производительностью наиболее точное решение в зависимости от внешних условий выполнения алгоритма: размерности задачи, требуемой точности решения и ресурсе времени, отведенном на решение задачи, тогда как точность решения, которую возможно получать известными методами и алгоритмами, ограничена структурой используемых алгоритмов решения NP-трудных задач.

**Постановка задачи.** Задача построения дерева Штейнера формулируется следующим образом [1, 2, 5–7, 16–18]. Имеется множество точек на плоскости  $P = \{p_i | i = \overline{1, n}\}$ . Требуется найти дерево  $S = (X, U)$  с множеством вершин  $X$  и множеством ребер  $U$  таких, что  $P \subset X$ , и суммарная длина ребер  $U$  минимальна. Расстояние между точками  $t$  и  $s$  с координатами  $(x_t, y_t)$  и  $(x_s, y_s)$  определяется по формуле  $d_{st} = |x_t - x_s| + |y_t - y_s|$ . Пусть  $C = \sum d_{st}$ . Тогда для решения задачи Штейнера критерий оптимизации будет выглядеть следующим образом:  $C = \sum d_{st} = \sqrt{(x_t - x_s)^2 + (y_t - y_s)^2}$ . Задача Штейнера состоит в минимизации значения  $C$ , т.е.  $C \rightarrow \min$ .

Задачу Штейнера можно сформулировать также следующим образом: для заданных  $n$  точек плоскости построить соединяющее их дерево с  $n' \geq n$  вершинами, общая длина ветвей которого минимальна. Получение  $n' - n$  дополнительных вершин является характерной особенностью построения дерева Штейнера. При этом все дополнительные вершины дерева Штейнера принадлежат множеству узлов ортогональной решетки. Тогда целью построения ортогонального дерева Штейнера является нахождение таких дополнительных вершин, чтобы суммарная длина цепей, связывающих вершины дерева, была минимальной [17].

Построение дерева Штейнера. Рассмотрим алгоритм построения дерева Штейнера [2], на модификации которого основан предлагаемый адаптивный алгоритм построения дерева Штейнера. Структурная схема алгоритма показана на рис. 1.

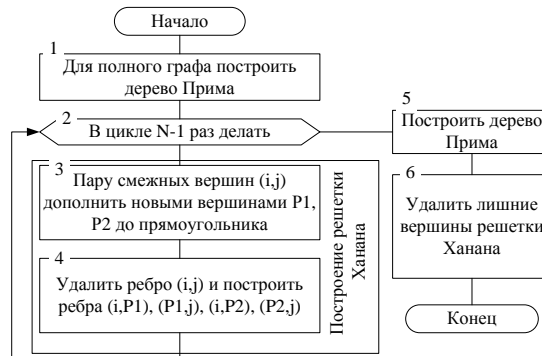


Рис. 1. Алгоритм построения дерева Штейнера

Все возможные варианты МСД задаются полным графом, веса ребер которого равны расстоянию на плоскости между каждой парой контактов, моделируемых вершинами исходного графа. Строится минимальное связывающее дерево (МСД)

на основе алгоритма Прима, который заключается в “разрастании” поддеревьев добавлением в минимальное покрывающее дерево вершины, еще не включенной в него, такой, что ребро, соединяющее ее с минимальным покрывающим деревом, является минимальным.

Затем выбирается очередная пара смежных вершин  $i, j$  дерева Прима и строится решетка Ханана [17, 18], образованная пересечением всех вертикальных и горизонтальных линий проходящих через вершины графа. Узлы решетки Ханана являются возможными положениями точек Штейнера. Все возможные точки Штейнера добавляются во множество вершин графа. Затем из дерева Прима удаляется рассмотренное ребро, т.е. производится перестроение дерева Прима. На последнем этапе производится удаление всех точек Штейнера со степенью 1, а так же точек Штейнера, не инцидентных вершинам графа.

Пример работы алгоритма приведен на рис. 2.

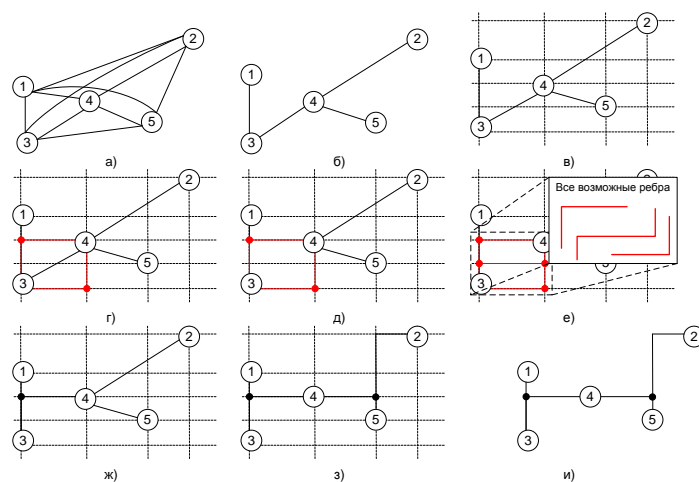


Рис. 2. Пример построения дерева Штейнера

На рисунке (см. рис. 2): а) – полный граф; б) – дерево Прима; в) – добавление координатной сетки; г) – дополнение ребра между вершинами 3 и 4 дополнительными точками; д) – удаление ребра дерева Прима между вершинами 3 и 4; е) – построение всех возможных S-ребер; ж) – перестроение дерева Прима между вершинами 3 и 4; з) – искомое дерево Штейнера после повторения шагов г)–ж) для всех ребер дерева Прима; и) – удаление координатной сетки.

Адаптивный алгоритм построения дерева Штейнера. Структурная схема адаптивного алгоритма построения дерева Штейнера показана на рис. 3.

Адаптация в технических системах – это способность системы изменять свое состояние и поведение (параметры, структуру, алгоритм, функционирование) в зависимости от условий внешней среды путем накопления и использования информации о ней [14–16]. Одним из методов адаптации является параметрическая адаптация, при которой приспособление объекта адаптации к внешним условиям производится с помощью выбора значений параметров адаптации, которые выбираются на основе заранее выбранных адаптирующих воздействий, соответствующих внешним условиям [14].

В качестве внешних условий выполнения адаптивного алгоритма построения дерева Штейнера предлагается использовать: размерность задачи, ресурс времени, отведенный на решение задачи, а так же быстродействие компьютера, на котором решается задача.

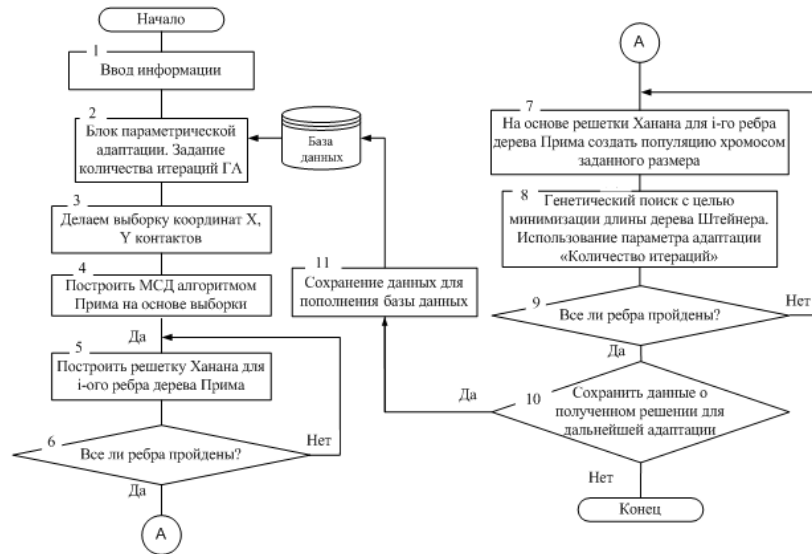


Рис. 3. Структурная схема адаптивного алгоритма построения дерева Штейнера

Адаптивный алгоритм основан на использовании процедуры генетического поиска (блок 8, см. рис. 3) при выборе реализации ребра дерева Пима с целью оптимизации полученных решений, а также введении блока параметрической адаптации (блок 2, см. рис. 3), позволяющего выбрать значение параметра адаптации на основе анализа информации, накопленной в базе данных.

В качестве параметра адаптации предлагается использовать количество итераций (КИ) генетического алгоритма при построении ортогональной реализации ребер кратчайшего связывающего дерева Прима, заданных решеткой Ханана.

Одной итерации соответствует множество операций генетического алгоритма. Чем меньше количество итераций, тем более худшее решение будет получено.

Адаптирующими воздействиями, соответствующим внешним условиям, в таком случае, являются конкретные значения параметра адаптации – КИ.

Соответствие между адаптирующим воздействием и значением параметрами адаптации устанавливается на основе заранее проведенных исследований. Результаты этих исследований хранятся в соответствующей базе данных.

Таким образом, для выполнения адаптивного алгоритма построения дерева Штейнера блоком адаптации до начала выполнения алгоритма в зависимости от значений внешних условий решения задачи выбирается значение КИ – параметра адаптации, которое должно обеспечить построение дерева Штейнера при таких внешних условиях как размерность задачи и отведенное время на решение задачи. При этом быстродействие компьютера, на котором решается задача, учитывается при сравнении этого быстродействия с быстродействием компьютера, на котором производились исследования при формировании базы данных.

Например, при количестве контактов (вершин графа) равным 100 в базе данных будет осуществляться поиск данных об уже исследованных деревьях Штейнера с количеством вершин равным 100. Если такие данные имеются, выбираются значения параметра адаптации – КИ для выполнения текущей задачи, иначе, устанавливается такое значение параметра адаптации, которое позволит построить дерево Штейнера при ресурсе времени, отведенном на решение задачи.

Адаптивный алгоритм построения дерева Штейнера состоит из следующих этапов:

1. Ввод данных: информации о контактах цепи, ресурсе времени, отведенном на выполнение проектной операции, быстродействии компьютера, на котором выполняется проектная операция.
2. Анализ блоком параметрической адаптации информации, хранящейся в базе данных, для выбора значения параметра адаптации – КИ.
3. Передача контактов каждого ребра в качестве вершин для построения МСД по алгоритму Прима.
4. Построение МСД алгоритмом Прима.
5. Создание решетки Ханана для  $i$ -го ребра.
6. Проверка: созданы ли решетки Ханана для всех ребер? Если нет, то переход к пункту 5, если все ребра дерева Прима рассмотрены, то переход к пункту 7.
7. Построение всех вариантов S-ребер для каждого ребра дерева Прима.
8. Генетический поиск с целью минимизации длины дерева Штейнера с использованием параметра адаптации – КИ.
9. Проверка: построены ли все возможные S-ребра для всех ребер дерева Прима? Если не все ребра рассмотрены, то переход к пункту 7, иначе – переход к пункту 10.
10. Если установлено соответствующее условие, то сохранить данные о полученном решении в базе данных.
11. Конец работы адаптивного алгоритма.

Особенности генетического поиска. В предложенном адаптивном алгоритме построения дерева Штейнера использован простой безвозвратный генетический алгоритм [3], применяются: одноточечные операторы кроссинговера и мутации, отбор случайный, селекция – «лучшие и худшие».

Хромосома представляет собой набор ген, каждый из которых несет информацию о конкретной области (кластере) на наборе вершин исходного графа. При кодировании используется то, что каждый кластер хранит в себе координаты всех вершин графа, принадлежащих ему. Внутри каждого кластера строится решетка Ханана, образованная пересечением всех вертикальных и горизонтальных линий проходящих через вершины, принадлежащие к этому кластеру. Хромосома хранит информацию, определяющую – на пересечении каких горизонтальных и вертикальных линий решетки Ханана лежит выбранная точка Штейнера. Данный способ кодирования более предпочтителен, нежели хранение бинарной хромосомы, определяющего включение для каждой возможной точки Штейнера для заданного кластера в виду более экономичного использования памяти [3].

На рис. 4 представлены примеры кодирования хромосом для одного кластера.

В качестве оператора кроссинговера используется модифицированный одноточечный оператор кроссинговера, пример выполнения которого представлен на рис. 5.

Модификация оператора кроссинговера состоит в поиске и удалении не удовлетворяющих решений. Так при декодировании хромосом С1 и С2, получим решения, изображенные на рис. 6, из которых видно, что хромосома С1 является неудовлетворяющей, поэтому она будет удалена из популяции, так как появляется разрыв и дерево Штейнера не может быть реализовано.

Адаптивный алгоритм реализован на языке Java 7.0. Проведены экспериментальные исследования алгоритма для количества контактов от 100 до 2000 с целью формирования базы данных.

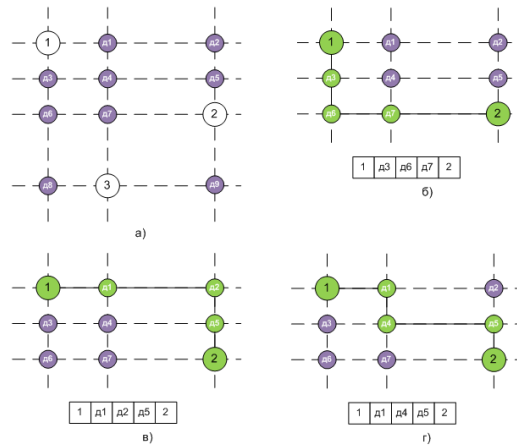


Рис. 4. Примеры кодирования хромосом: а) – кластер для 4х вершин; б), в), з) – возможные пути между вершинами 1 и 2 и соответствующие им хромосомы

|    |   |    |    |    |   |
|----|---|----|----|----|---|
| P1 | 1 | д3 | д6 | д7 | 2 |
| P2 | 1 | д3 | д4 | д5 | 2 |
| C1 | 1 | д3 | д6 | д5 | 2 |
| C2 | 1 | д3 | д4 | д7 | 2 |

Рис. 5. Пример работы оператора кроссинговера

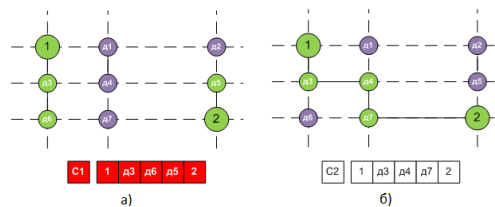


Рис. 6. Результат декодирования хромосом: а) – неудовлетворяющая хромосома; б) – удовлетворяющая хромосома

**Заключение.** Рассмотренный алгоритм построения дерева Штейнера относится к классу адаптивных алгоритмов с управляемой точностью решения и использованием параметрической адаптации к внешним условиям его выполнения: размерности задачи, ресурса времени, отведенном для выполнения проектной операции, а также быстродействия компьютера, на котором выполняется программа алгоритма, направлен на получение наиболее точного решения за отведенное время на основе выбора значения параметра адаптации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gilbert E.N., Pollak H.O. Steiner Minimal Trees // SIAM Journal on Applied Mathematics. – 1968. – Vol. 16, No 1. – P. 1-29. <http://epubs.siam.org>.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
3. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. – М.: Физматлит, 2013. – 260 с.

4. 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.
5. 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.
6. Лебедев Б.К. Процедуры сужения пространства решений при построении дерева Штейнера // Известия ТРТУ. – 2004. – № 3 (38). – С. 55-60.
7. Лебедев Б.К. Интеллектуальная процедура построения дерева Штейнера на основе процедур отсечки и сужения // Известия ТРТУ. – 2000. – № 1 (15). – С. 89.
8. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н. К вопросу о построении деревьев Штейнера с различной шириной ветвей для связывания элементов трехмерных СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 72-76.
9. Чернышев Ю.О., Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Литвиненко Е.В. Методы управления точностью решения экстремальных задач на графах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 84-91.
10. Литвиненко В.А. Применение адаптивных алгоритмов определения экстремальных множеств графов при решении оптимизационных задач автоматизированного проектирования ЭВА // Известия ТРТУ. – 2001. – № 4 (22). – С. 361-362.
11. Литвиненко В.А. Адаптивные алгоритмы определения экстремальных множеств графов // Известия ТРТУ. – 2000. – № 2 (16). – С. 186-189.
12. Litvinenko V.A. Adaptive algorithms of definition of extreme sets of graphs // Proceeding of the International Scientific Conferences «Intelligent System (IEEE AIS'03)» and «Intelligent CAD's (CAD-2003)». Scientific publication in 3 volumes. – 2003. – Vol. 3. – С. 52-59.
13. Литвиненко В.А., Ховансков С.А., Литвиненко Е.В. Применение методов искусственного интеллекта для управления точностью решения задач на графах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 153-159.
14. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
15. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Чернышев Ю.О. Адаптация на основе самообучения: Монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГАСХМ ГОУ, 2005.
16. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Поисковая адаптация. Теория и практика: Монография. – М.: Физматлит, 2006.
17. Орлов Н.Н. Новый подход к решению задачи Штейнера на основе решения Евклидовой задачи // Труды международных научных конференций IEEE AIS 04, CAD 04. – М.: Физматлит, 2004.
18. Hanan M. On Steiner's problem with rectilinear distance // J. SIAM Appl. – Math. 14, 1966. – P. 255-265.
19. Martin Zachariasen. A Catalog of Hanan Grid Problems Networks, 2000. – Vol. 38. – P. 200-221.

#### REFERENCES

1. Gilbert E.N., Pollak H.O. Steiner Minimal Trees, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 1968, Vol. 16, No. 1, pp. 1-29. Available at: <http://epubs.siam.org>.
2. Kristofides N. Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod [Graph theory. Algorithmic approach]. Moscow: Mir, 1978, 432 p.
3. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy. Moscow: Fizmatlit, 2013, 260 p.
4. 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.
5. 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.
6. Lebedev B.K. Protседury suzheniya prostranstva resheniy pri postroenii dereva Shteynera [Procedures narrowing space decisions when building the tree Steiner], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2004, No. 3 (38), pp. 55-60.



7. *Lebedev B.K.* Intellectualnaya protsedura postroeniya dereva Shteynera na osnove protsedur otsechki i suzheniya [Intellectual build procedure Steiner tree on the basis of the procedures cutoff and narrowing], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2000, No. 1 (15), pp. 89.
8. *Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N.* K voprosu o postroenii derev'ev Shteynera s razlichnoy shirinoy vetvey dlya svyazyvaniya elementov trekhmernykh SBIS [To the question about building Steiner trees with different width of the branches to map three-dimensional elements of VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 72-76.
9. *Chernyshev Yu.O., Litvinenko V.A., Khovanskov S.A., Litvinenko E.V.* Metody upravleniya tochnostyu resheniya ekstremal'nykh zadach na grafakh [Management methods accuracy of the solution of extremal problems on graphs], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 84-91.
10. *Litvinenko V.A.* Primenenie adaptivnykh algoritmov opredeleniya ekstremal'nykh mnozhestv grafov pri reshenii optimizatsionnykh zadach avtomatizirovannogo proektirovaniya EVA [The use of adaptive algorithms of extremal sets in graphs when solving optimization problems aided design EVA], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2001, No. 4 (22), pp. 361-362.
11. *Litvinenko V.A.* Adaptivnye algoritmy opredeleniya ekstremal'nykh mnozhestv grafov [Adaptive algorithms of definition of extreme sets of graphs], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2000, No. 2 (16), pp. 186-189.
12. *Litvinenko V.A.* Adaptive algorithms of definition of extreme sets of graphs, *Proceeding of the International Scientific Conferences «Intelligent System (IEEE AIS'03)» and «Intelligent CAD's (CAD-2003)»*. Scientific publication in 3 volumes, 2003, Vol. 3, pp. 52-59.
13. *Litvinenko V.A., Khovanskov S.A., Litvinenko E.V.* Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta dlya upravleniya tochnostyu resheniya zadach na grafakh [Application of artificial intelligence methods to control the accuracy of the solution of the problems on graphs], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 153-159.
14. *Rastrigin L.A.* Adaptatsiya slozhnykh system [Adaptation of complex systems]. Riga: Zinatne, 1981, 375 p.
15. *Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B., Chernyshev Yu.O.* Adaptatsiya na osnove samo-obucheniya [Adaptation based learning: Monograph]. Rostov-on-Don: Izd-vo RGASKhM GOU, 2005.
16. *Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B.* Poiskovaya adaptatsiya. Teoriya i praktika [[Search adaptation. Theory and practice]: Monografiya. Moscow: Fizmatlit, 2006.
17. *Orlov N.N.* Novyy podkhod k resheniyu zadachi Shteynera na osnove resheniya Evklidovoy zadachi [A new approach to the solution of the Steiner problem on the basis of the solution of Euclidean tasks], *Trudy mezhdunarodnykh nauchnykh konferentsiy IEEE AIS 04, CAD 04* [Proceedings of international scientific conferences IEEE AIS 04, CAD 04]. Moscow: Fizmatlit, 2004.
18. *Hanan M.* On Steiner's problem with rectilinear distance, *J. SIAM Appl. Math.* 14, 1966, pp. 255-265.
19. *Martin Zachariasen.* A Catalog of Hanan Grid Problems Networks, 2000, Vol. 38, pp. 200-221.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.О. Чернышев.

**Литвиненко Василий Афанасьевич** – Южный федеральный университет; e-mail: litv@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, Ростовская область, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; к.т.н.; доцент.

**Ховансков Сергей Андреевич** – e-mail: sah59@mail.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; к.т.н.; доцент.

**Максюта Дмитрий Юрьевич** – e-mail: dm\_max23@mail.ru; студент.

**Litvinenko Vasily Afanasievich** – Southern Federal University; e-mail: litv@tsure.ru; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Hovanskov Sergey Andreevich** – e-mail: sah59@mail.ru; the department of computer aided design; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Maksyuta Dmitry Yuryevich** – e-mail: dm\_max23@mail.ru; student.