

14. *Holland John H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. USA: University of Michigan, 1975, 183 p.
15. *Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I.* Modeli parallelizma evolyutsionnykh vychisleniy [Models of parallelism of evolutionary calculations], *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering], 2011, No. 3 (43), pp. 93-97.
16. *Bova V.V., Kureychik V.V.* Integrirovannaya podsistema gibridnogo i kombinirovannogo poiska v zadachakh proektirovaniya i upravleniya [Integrated subsystem of hybrid and combined search in design and management tasks], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 12 (113), pp. 37-42.
17. *Karaboga D.* An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005, 110 p.
18. *Dorigo M., Maniezzo V., Colnani A.* The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1996, Part B, No. 26 (1), pp. 29-41.
19. *Kureychik V.V., Kureychik V.V.* Razmeshcheniya fragmentov SBIS na osnove mekhanizma agregatsii fraktalov [Placement of VLSI fragments based on the fractal aggregation mechanism], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 2 (163), pp. 196-205.
20. *Adya S.N., Markov I.L.* ISPD02 IBM-MS Mixed-size Placement Benchmarks. Available at: <http://vlsicad.eecs.umich.edu/BK/ISPD02bench/>.
21. *Adya S.N., Markov I.L.* Consistent placement of macro-blocks using floor planning and standard-cell placement, *In Proc. Intl. Symp. on Physical Design*, 2002, pp. 12-17.
22. *Wang M., Yang X., Sarrafzadeh M.* Dragon 2000: Standard-cell Placement Tool for Large Industry Circuits, *ICCAD – 2000*, pp. 260-263.

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

Курейчик Владимир Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: vkur@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой САПР; д.т.н.; профессор.

Курейчик Владимир Владимирович – ООО «Газпром подземремонт Уренгой»; e-mail: Kureichik@yandex.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: +78126096700; отдел автоматизации систем управления; к.т.н.; ведущий инженер.

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

Kureichik Vladimir Vladimirovich – «Gazprom podzemremont Urengoi» company; e-mail: Kureichik@yandex.ru; St. Peterburg, Russia; phone: +78126096700; Control systems automation department; cand. of eng. sc.; lead engineer.

УДК 004.896

DOI 10.18522/2311-3103-2021-2-50-59

В.В. Курейчик, Вл.Вл. Курейчик, А.Э. Саак

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ*

Рассмотрена одна из важных задач оптимизации – задача диспетчеризации. Она относится к классу NP- сложных оптимизационных задач. В работе приведена и описана постановка задачи диспетчеризации. Здесь массив заявок пользователей на компьютерное

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00148.

обслуживание в Grid- системах моделируется протяжённой линейной полиэдралью координатных ресурсных прямоугольников. При этом диспетчирование представляется локализацией линейной полиэдральной оболочки области вычислительно-временных ресурсов системы согласно многоцелевому критерию качества применяемого назначения заявок на обслуживание. В связи со сложностью данной задачи для ее эффективного решения предлагаются методы эволюционного моделирования. В статье предложена и описана модифицированная архитектура эволюционного поиска. В качестве модификации введены дополнительно три блока. Это блок «внешней среды», блок эволюционной адаптации и блок «неперспективных решений». Для ее реализации авторами разработан модифицированный эволюционный алгоритм, использующий в качестве отбора решений модели эволюций Ч. Дарвина и Ж. Б. Ламарка. Это позволяет значительно сократить время получения результата, частично решить проблему преждевременной сходимости алгоритма и получить наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время. Разработан программный модуль на языке C#. Проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах. Проведенные экспериментальные исследования, показали, что качество решений, полученных на основе разработанного эволюционного алгоритма, в среднем на 5 процентов превосходит результаты решений, полученные с использованием известных алгоритмов последовательного, начально-кольцевого и уровневого при сопоставимом времени, что говорит об эффективности предложенного подхода.

Grid-система; диспетчирование; эволюционное моделирование; эволюционный алгоритм.

V.V. Kureichik, VI.VI. Kureichik, A.E. Saak

AN EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR SOLVING THE DISPATCHING PROBLEM

The paper considers one of the most important optimization tasks – the dispatching task that belongs to the class of NP-complex optimization problems. The paper presents the formulation of this problem. In Grid systems the array of users' requests for computer services is modelled by an extended linear polyhedral of coordinate resource rectangles. In this case, dispatching is represented by the localization of a linear polyhedron in the envelope of the area of computational and time resources of the system according to the multipurpose criterion of the quality of the applied assignment. Due to the complexity of this problem, the authors propose methods of evolutionary modelling for its effective solution and describe a modified evolutionary search architecture. Three additional blocks are introduced as a modification. This is a block of "external environment", a block of evolutionary adaptation and a block of "unpromising solutions." The authors have developed a modified evolutionary algorithm that uses the Darwin's and Lamarck's evolution models. This makes it possible to significantly reduce the time for obtaining the result, partially solve the problem of premature convergence of the algorithm, and obtain sets of quasi-optimal solutions in polynomial time. A software module has been developed in the C # language. A computational experiment has carried out on test examples and shown that the quality of solutions obtained on the basis of the developed evolutionary algorithm is, on average, 5 percent higher than the results of solutions obtained using the known algorithms of sequential, initial-ring and level at comparable time, which indicates the effectiveness of the proposed approach.

Grid-system; dispatching; evolutionary modelling; evolutionary algorithm.

Введение. Экспоненциальный рост вычислительной мощности, описываемый законом Мура, пропускной способности сетей связи, описываемый законом Баттера и ёмкости хранения, описываемый законом Крайдера, показывают неудовлетворённость пользователей существующей информационно-коммуникационной инфраструктурой. Всё возрастающие потребности пользователей, задачи, требующие больших объёмов вычислений, привели к распараллеливанию вычислений, созданию многопроцессорных вычислительных систем, многоядерных процессоров, развитию технологий облачных вычислений и Grid-систем. В Grid- системах актуальной задачей, во многом определяющей эффективность функционирования, является управление, распределение вычислительно-временных ресурсов при обслуживании набора заявок [1–6].

Принцип оптимизации с машинным поиском наилучшего распределения массива планарных ресурсных элементов по многоцелевому критерию решает задачу диспетчирования множественным компьютерным обслуживанием с неприемлемой трудоёмкостью составления расписания. Таким образом диспетчеризация является NP-сложной задачей, не имеющей точных алгоритмов ее решения за полиномиальное время [7–11].

В связи с этим, разработка новых эффективных методов и алгоритмов решения задачи диспетчеризации является актуальной и важной задачей.

1. Постановка задачи. Возникшая в конце 70-х годов прошлого века, задача диспетчирования процессорным и временным ресурсами остаётся актуальной и для современных параллельных систем, в том числе, Grid-систем. Геометрической интерпретацией первоначальной постановки задачи предлагалась упаковка прямоугольников в полубесконечную полосу с минимизацией занятой части. В этой постановке моделью задачи служил ориентированный прямоугольник, с мерой сторон, равной числу единиц процессорного и временного ресурса. Модель параллельной системы представлялась горизонтальной полосой с процессорным ограниченным ресурсом. Экспоненциальное развитие цифровых технологий позволяет считать процессорный и временной ресурсы – равноценными, паритетными. Соответственно, моделью Grid-системы предлагается принять первый квадрант и сформулировать задачу диспетчирования как упаковку ориентированных прямоугольников в этом квадранте (рис. 1) [7, 11].

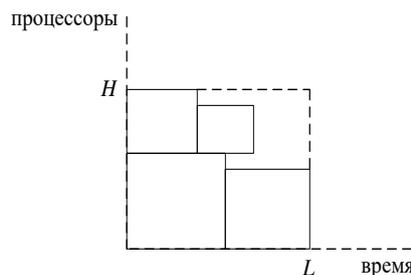


Рис. 1. Ресурсная оболочка заявок пользователей

Здесь эффективность диспетчирования определяется минимизацией занятой части квадранта, оцениваемой по неэвклидовой эвристической мере, учитывающей площадь и форму занятой ресурсной области:

$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{LH + (L-H)^2}{\sum_{j=0}^{k-1} a(j)b(j)} \right),$$

где L – протяжённость, H – уровень по вертикали ресурсной оболочки, $a(j)$ – число единиц времени, $b(j)$ – число единиц процессоров, требующихся j -й заявке.

В работе предлагаются эвристические алгоритмы диспетчирования и оценивается их эффективность. При этом, предложенная эвристическая мера принимает минимальное значение, равное 0,5 при безпустотной укладке в квадрат.

2. Методы эволюционного моделирования. Методы эволюционного моделирования – это направление исследований в теории и практике искусственного интеллекта. Ключевой идеей этих методов является использование в качестве основных операций некоторых формализованных принципов естественного эволюцион-

ного отбора [12]. В настоящее время число разновидностей алгоритмов данного класса достаточно велико. Но все данные алгоритмы различаются между собой реализацией тех или иных процессов и механизмов, происходящих в живой природе.

Теоретической основой данных методов является моделирование эволюционного процесса, основанного на принципе «выживания сильнейших».

Методы эволюционного моделирования являются приближенными (эвристическими) методами решения задач оптимизации и структурного синтеза. Они в основном основаны на статистическом подходе к исследованию ситуаций, а также при поиске решений используют итерационное приближение. Одним из основных методов эволюционного моделирования являются эволюционные алгоритмы.

Эволюционные алгоритмы (ЭА) как новое направление оптимизации начали развиваться в начале 80-х гг. [12–17]. В настоящее время их начали широко использовать для решения различных практических задач науки и техники, в том числе для решения задач проектирования. Данные методы позволяют обрабатывать большие области поиска с учётом множества критериев.

В данных методах любое альтернативное решение задачи представляется в виде хромосомы. В свою очередь хромосома состоит из дискретных элементов, называемых генами. Они размещаются по позициям – локусам и могут иметь различные функциональные значения.

ЭА нацелены на оптимизацию целевой функции. Их эффективное использование зависит от способа представления и отбора решений, выбора операторов мутации и принципов формирования начальной популяции альтернативных решений.

Процесс реализации данных методов заключается в последовательном выполнении следующих операций. Предварительно на основе известных принципов [15] создается популяция решений рассматриваемой задачи. Далее процесс представляет собой последовательность циклов выполнения операторов мутации с определенной вероятностью. При чем в каждом цикле происходит оценка всех альтернативных решений решаемой задачи. Далее альтернативные решения, в зависимости от полученной оценки, либо участвуют в создании новой популяции, либо устраняются из дальнейшего поиска. Процесс поиска считается завершённым по выполнению критерия окончания работы алгоритма. Заметим, что данные методы эффективно и одновременно способны анализировать различные области поискового пространства, а также позволяют быстро адаптироваться к нахождению новых, с точки зрения значения ЦФ, лучших областей.

В связи с этим обстоятельством и сложностью решаемой задачи, авторы предлагают использовать методы эволюционного моделирования. Применение этих методов позволит эффективно справиться с трудностями, возникающими при использовании классических подходов.

Базовая структура эволюционного поиска представлена на рис. 2 [15, 17].

В отличие от базовой структуры эволюционного поиска авторы предлагают следующую модифицированную архитектуру и технологию эволюционного поиска, представленную на рис. 3. В качестве модификации в известную архитектуру эволюционного поиска в диссертационной работе предлагается ввести три новых блока. Это блок «внешней среды», блок эволюционной адаптации и блок «неперспективных решений», а также использовать комбинацию двух моделей эволюции. Это модели эволюции Ч. Дарвина и Ж.Б. Ламарка. Здесь будут использованы следующие механизмы отбора: наследование «благоприобретенных признаков» и «выживание сильнейших» [18].

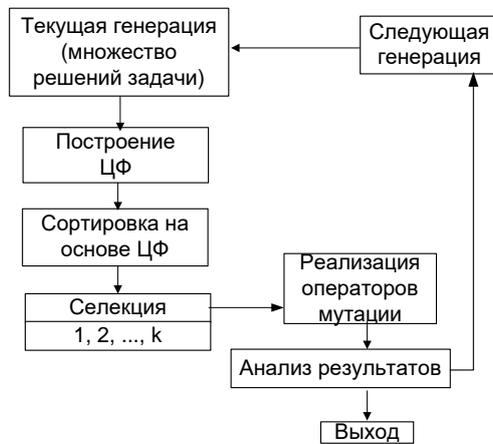


Рис. 2. Базовая структура эволюционного поиска

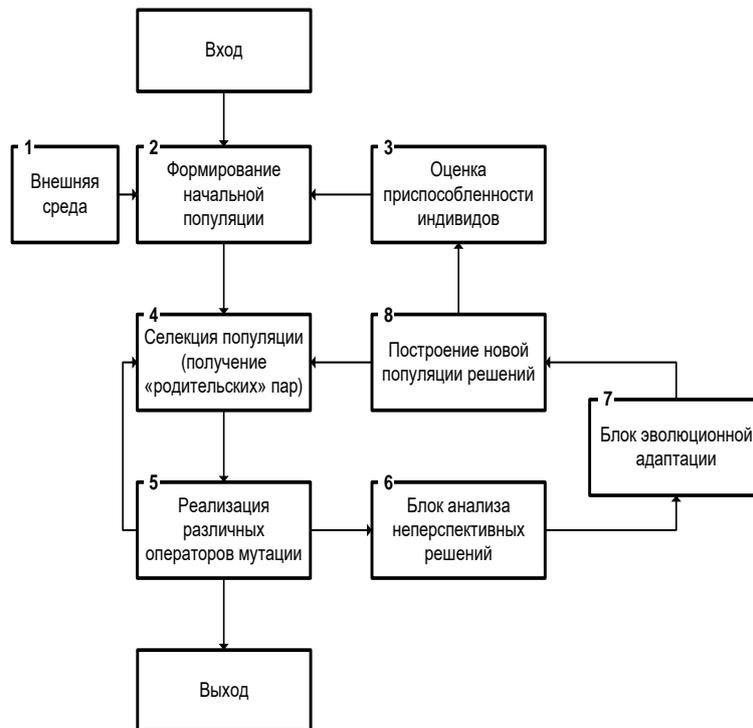


Рис. 3. Модифицированная архитектура эволюционного поиска

Рассмотрим более детально модифицированную архитектуру эволюционного поиска и опишем работу ее блоков. Она представляется следующим образом. Предварительно задается область поиска допустимых решений с учетом ограничений. Таких как число единиц процессоров, число единиц времени, площадь и форма занятой ресурсной области. Затем на основе известных принципов [15, 17] создается начальная популяция альтернативных решений решаемой задачи диспетчеризации.

Данная популяция эволюционирует с учетом моделей эволюции Ч. Дарвина и Ж.Б. Ламарка [18]. Далее производится выбор ЦФ и затем на ее основе производится оценка начальной популяции. Следующим этапом реализуется оператор репродукции (селекции). После этого формируются новые решения за счет выполнения различных операторов мутации (мутация, инверсия) [15, 17]. Данные, полученные после реализации операторов, передаются в блок анализа неперспективных решений. Здесь каждому решению присваивается определенная метка (перспективное, неперспективное, тривиальное и др.) с учетом ограничений и знаний ЛППР. Заметим, что такое ранжирование решений за счет структуризации позволяет динамически управлять поиском, что повышает эффективность работы эволюционного алгоритма в целом. Таким образом, в данной архитектуре появляется дополнительный инструмент для самоадаптации и настройки параметров поиска.

Далее результаты передаются в блок эволюционной адаптации. Данный блок оказывает непосредственное влияние на процесс перестройки текущей популяции и создания на ее основе новой популяции альтернативных решений. Блок внешней среды (ЛППР) позволяет производить выбор используемой на данном этапе модели эволюции и управлять всеми изменяемыми параметрами поиска. Процесс работы заканчивается при достижении определенного критерия окончания работы алгоритма. Таким критерием может быть время, число заданных генераций или получение набора квазиоптимальных решений.

3. Вычислительный эксперимент. Разработана программная среда для решения задачи диспетчеризации. При построении комплекса программ использовался пакет C#. Отладка и тестирование разработанных алгоритмов выполнялось на компьютере типа IBM PC с процессором ryzen 5 3600x с ОЗУ-16Гб. Проведен вычислительный эксперимент. Для определения эффективности разработанного эволюционного алгоритма были проведены исследования времени и качества решения (ресурсной меры M) для разного набора тестовых примеров, различающихся количеством блоков [19, 20]. В качестве алгоритмов, реализующих тестовые примеры, были выбраны известные алгоритмы последовательный (ПА) [9], начально-кольцевой (НК) [9], уровневый (УА) [21] и разработанные, и программно-реализованные авторами модифицированный эволюционный (ЭА). Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1, а также на рис. 4 и 5.

Таблица 1

Сравнение результатов размещения тестовых примеров алгоритмами последовательным (ПА), начально-кольцевым (НК), уровневым (УА) и разработанным авторами модифицированным эволюционным (ЭА) по значению эвристической меры M в у. е. и времени t в сек

№ теста	Число блоков (k)	ПА		НК		УА		ЭА	
		M	t, с.						
1	4	0,7	7,3	0,7	7,5	0,7	7,5	0,65	7,6
2	8	0,67	7,7	0,68	7,8	0,69	7,8	0,62	7,9
3	12	0,63	8,1	0,65	8,1	0,65	8,2	0,6	8,2
4	16	0,61	8,4	0,62	8,5	0,62	8,7	0,59	8,5
5	20	0,61	8,7	0,61	8,7	0,61	8,9	0,58	8,9
6	24	0,59	8,8	0,58	8,9	0,57	9,1	0,57	9,1
7	28	0,58	9,1	0,57	9,2	0,57	9,3	0,55	9,4
8	32	0,57	9,3	0,56	9,4	0,57	9,5	0,54	9,6

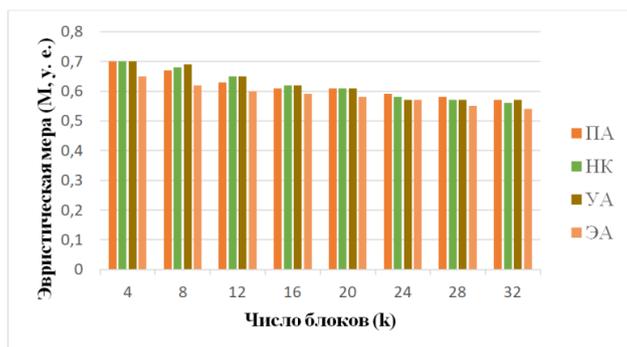


Рис. 4. Гистограмма сравнения значений эвристической меры алгоритмов размещения от числа размещаемых блоков

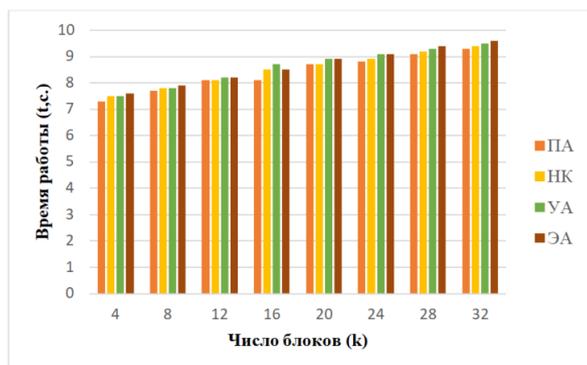


Рис. 5. Гистограмма сравнения времени работы алгоритмов размещения от числа размещаемых блоков вершин

В результате анализа представленной таблице и графиков зависимостей можно сделать вывод, что разработанный модифицированный эволюционный алгоритм при размещении блоков позволяет лучше производить размещение блоков в среднем на 5 %, чем известные алгоритмы при сопоставимом времени, что говорит об эффективности предложенного подхода.

Заключение. В работе рассмотрен подход к решению задач диспетчеризации массивами заявок. Для их эффективного решения предложена новая архитектура поиска, основанная на методах эволюционного моделирования. Для ее реализации авторами разработан модифицированный эволюционный алгоритм, позволяющий сократить время получения результата, частично решить проблему преждевременной сходимости алгоритма и получать наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время. Разработан программный модуль на языке С#. Проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах. Проведенные экспериментальные исследования, показали, что качество решений, полученных на основе разработанного эволюционного алгоритма, в среднем на 5 процентов превосходит результаты решений, полученные с использованием известных алгоритмов последовательного, начально-кольцевого и уровневого при сопоставимом времени, что говорит об эффективности предложенного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коваленко В.Н., Корягин Д.А. Грид: истоки, принципы и перспективы развития // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – № 4. – С. 38-50.
2. Васенин В.А., Шундеев А.С. Эволюция технологии Grid // Информационные технологии. – 2012. – № 1. – С. 2-9.
3. Барский А.Б. Алгоритмические, архитектурные и структурные методы организации управляющих процессов в виртуальном пространстве средств Grid-системы // Информационные технологии. – 2012. – № 5. – С. 2-6.
4. Коваленко В.Н., Семьякин Д.А. Методы и алгоритмы управления параллельными заданиями в гриде с ресурсами в форме кластеров // Вестник Южного научного центра РАН. – 2008. – Т. 4, № 3. – С. 23-34.
5. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиточечные вычислительные структуры / под общ. ред. И.А. Каляева. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009.
6. Liu C., Baskiyar S. A general distributed scalable grid scheduler for independent tasks // J. Parallel Distrib. Comput. – 2009. – Vol. 69. – P. 307-314.
7. Саак А.Э. Локально-оптимальные ресурсные распределения // Информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 28-34.
8. Саак А.Э. Диспетчеризация в Grid-системах на основе однородной квадратичной типизации массивов заявок пользователей // Информационные технологии. – 2012. – № 4. – С. 32-36.
9. Саак А.Э. Полиномиальные алгоритмы распределения ресурсов в Grid-системах на основе квадратичной типизации массивов заявок // Информационные технологии. – 2013. – № 7. Приложение. – 32 с.
10. Korf R. Huang E. New Improvements in Optimal Rectangle Packing // In Proceedings of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2009). Pasadena, California, USA, July 11-17, 2009. – P. 511-516.
11. Саак А.Э. Диспетчеризация массивов заявок суммарной ресурсной меры, равной квадрату целого числа // Информационные технологии. – 2015. – Т. 21, № 9. – С. 675-679.
12. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования: монография. – М.: Физматлит, 2003.
13. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-24.
14. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений: монография. – М.: Физматлит, 2012.
15. Курейчик В.В., Родзин С.И. О правилах представления решений в эволюционных алгоритмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 13-21.
16. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 446 с.
17. Курейчик В.М., Курейчик В.В. Об управлении на основе генетического поиска // Автоматика и телемеханика РАН. – 2001. – № 10. – С. 174-187.
18. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В. Анализ и обзор моделей эволюции // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2007. – № 5. – С. 114-126.
19. Korf R. Huang E. Optimal Rectangle Packing on Non-Square Benchmarks // In Proceedings of the twenty-fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-10). Atlanta, Georgia, USA, July 11–15, 2010. – P. 83-88.
20. Саак А.Э. Сравнительный анализ полиномиальных алгоритмов диспетчеризации в Grid-системах // Информационные технологии. – 2012. – № 9. – С. 28-32.
21. Саак А.Э. Уровневые алгоритмы диспетчеризации массивами заявок кругового типа в Grid-системах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 6 (167). – С. 223-231.

REFERENCES

1. Kovalenko V.N., Koryagin D.A. Grid: istoki, printsipy i perspektivy razvitiya [Grid: sources, principles and prospects of development], *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [Information technologies and computing systems], 2008, No. 4, pp. 38-50.

2. Vasenin V.A., Shundeev A.S. Evolyutsiya tekhnologii Grid [Evolution of Grid technology], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 1, pp. 2-9.
3. Barskiy A.B. Algoritmicheskie, arkhitekturnye i strukturnye metody organizatsii upravlyayushchikh protsessov v virtual'nom prostranstve sredstv Grid-sistemy [Algorithmic, architectural and structural methods of organizing control processes in the virtual space of Grid-system tools], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 5, pp. 2-6.
4. Kovalenko V.N., Semyachkin D.A. Metody i algoritmy upravleniya parallel'nymi zadaniyami v gride s resursami v forme klasterov [Methods and algorithms for managing parallel tasks in a grid with resources in the form of clusters], *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2008, Vol. 4, No. 3, pp. 23-34.
5. Kalyaev I.A., Levin I.I., Semernikov E.A., Shmoylov V.I. Rekonfiguriruemye mul'tikonveyernye vychislitel'nye struktury [Reconfigurable multiconveyor computing structures], under the general ed. of I.A. Kalyaeva. Rostov-on-Donu: Izd-vo YuNTS RAN, 2009.
6. Liu C., Baskiyar S. A general distributed scalable grid scheduler for independent tasks, *J. Parallel Distrib. Comput.*, 2009, Vol. 69, pp. 307-314.
7. Saak A.E. Lokal'no-optimal'nye resursnye raspredeleniya [Locally optimal resource distributions], *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2011, No. 2, pp. 28-34.
8. Saak A.E. Dispetcherizatsiya v Grid-sistemakh na osnove odnorodnoy kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok pol'zovateley [Dispatching in Grid-systems based on homogeneous quadratic typing of arrays of user requests], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 4, pp. 32-36.
9. Saak A.E. Polinomial'nye algoritmy raspredeleniya resursov v Grid-sistemakh na osnove kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok [Polynomial algorithms for resource allocation in Grid systems based on quadratic typing of request arrays], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2013, No. 7. Appendix, 32 p.
10. Korf R. Huang E. New Improvements in Optimal Rectangle Packing. In *Proceedings of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2009). Pasadena, California, USA, July 11-17, 2009*, pp. 511-516.
11. Saak A.E. Dispetchepizatsiya massivov zayavok summarnoy pesupsnoy mery, pavnoy kvadpatu tselogo chisla [Dispatching of request arrays with a total resource measure equal to the square of an integer], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2015, Vol. 21, No. 9, pp. 675-679.
12. Emel'yanov V.V., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya: monografiya [Theory and practice of evolutionary modeling: monograph]. Moscow: Fizmatlit, 2003.
13. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Kontseptsiya evolyutsionnykh vychisleniy, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami [The concept of evolutionary calculations inspired by natural systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 16-24.
14. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy: monografiya [Theory of evolutionary calculations: monograph]. Moscow: Fizmatlit, 2012.
15. Kureychik V.V., Rodzin S.I. O pravilakh predstavleniya resheniy v evolyutsionnykh algoritmakh [On the rules for the representation of solutions in evolutionary algorithms], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 13-21.
16. Karpenko A.P. Sovremennyye algoritmy poiskovoy optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy: ucheb. posobie [Modern search engine optimization algorithms. Algorithms inspired by nature: a textbook]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2014, 446 p.
17. Kureychik V.M., Kureychik V.V. Ob upravlenii na osnove geneticheskogo poiska [About management on the basis of genetic search], *Avtomatika i telemekhanika RAN* [Avtomatika i telemekhanika RAS], 2001, No. 10, pp. 174-187.
18. Kureychik V.V. Kureychik V.M., Sorokoletov P.V. Analiz i obzor modeley evolyutsii [Analysis and review of models of evolution], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Theory and control systems], 2007, No. 5, pp. 114-126.

19. Korf R. Huang E. Optimal Rectangle Packing on Non- Square Benchmarks. *In Proceedings of the twenty-fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-10). Atlanta, Georgia, USA, July 11–15, 2010*, pp. 83-88.
20. Saak A.E. Sravnitel'nyy analiz polinomial'nykh algoritmov dispetcherizatsii v Grid-sistemakh [Comparative analysis of polynomial dispatching algorithms in Grid systems], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 9, pp. 28-32.
21. Saak A.E. Urovnevye algoritmy dispetcherizatsii massivami zayavok krugovogo tipa v Grid-sistemakh [Level algorithms for dispatching circular-type request arrays in Grid-systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 6 (167), pp. 223-231.

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

Курейчик Владимир Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: vkur@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования, зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Саак Андрей Эрнестович – e-mail: saak@sfedu.ru; тел.: 88634393140; кафедра государственного и муниципального управления; д.т.н.; доцент; зав. кафедрой ГиМУ.

Курейчик Владимир Владимирович – ООО «Газпром подземремонт Уренгой»; e-mail: Kureichik@yandex.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: +78126096700; отдел автоматизации систем управления; к.т.н.; ведущий инженер.

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

Saak Andrey Ernestovich – e-mail: aesaak@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634393373; the department of state and municipal management, head of department.

Kureichik Vladimir Vladimirovich – «Gazprom podzemremont Urengoi» company; e-mail: Kureichik@yandex.ru; St. Peterburg, Russia; phone: +78126096700; Control systems automation department; cand. of eng. sc.; lead engineer.

УДК 621.315.611

DOI 10.18522/2311-3103-2021-2-59-73

Н.К. Полуянович, М.Н. Дубяго

АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ФАКТОРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Статья посвящена исследованиям термофлуктуационных процессов в соответствии с теорией теплопроводности для решения задач факторного прогнозирования остаточного ресурса изоляционных материалов на основе неразрушающего температурного метода. Обоснована актуальность задачи разработки алгоритма для прогнозирования температуры жил СКЛ в режиме реального времени на основе данных системы температурного мониторинга, с учетом изменения токовой нагрузки линии и внешних условий теплоотвода. Экспериментальным методом выявлены типы искусственных нейронных сетей, их архитектура и состав, которые обеспечивают максимальную точность прогнозирования при минимальном наборе значимых факторов. Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля. Определен минимальный набор значимых факторов и размерность входного обучающего вектора, который обеспечивает универсальность нейросетевого метода прогнозирования. Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы заключается в диагностике и прогнозировании ресурса электроизоляции (ЭИ) силового кабеля. Модель позволяет оценивать