

DOI: 10.12731/2070-7568-2022-11-1-24-39

УДК 004.89

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Е.Б. Козловская, О.В. Пацук

Рассматривается модификация алгоритма локального поиска с применением турнирной селекции для задачи оперативного планирования на производстве пластиковых изделий. Сравнительный анализ результатов применения алгоритма показал прямую зависимость результатов от наличия турнирной селекции и размера популяции.

Программа предназначена для оперативного планирования на производстве пластмассовых изделий, где необходимо учитывать объем и срок производства каждого вида продукции с минимальным количеством изменения в настройках оборудования. Целью оптимизации является минимизация числа переключений видов продукции при составлении плана производства. Предлагается модификация генетического алгоритма с применением турнирной селекции для задачи планирования видов продукции на производственных мощностях. Данный алгоритм является методом локального поиска, позволяющего постепенно улучшать определенный результат в некоторой окрестности известного решения.

Цель – минимизация числа переключений видов продукции при составлении плана производства.

Метод или методология проведения работы: в статье использовались методы системного анализа, исследования операций, теории оптимизации, экономико-математические методы и статистические методы анализа.

Результаты: в среднем быстрее всего отыскивается решение при исходном размере популяции в 100 особей, и это время меньше

наибольших средних значений в 2 раза. Турнирная селекция, снижая временные затраты, снижает и вероятность нахождения оптимального решения.

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять на производственных линиях для распределения нагрузки мощностей.

Ключевые слова: генетический алгоритм; метод локального поиска; задача планирования загрузки мощностей; турнирная селекция

COST-EFFECTIVENESS OF USING THE LOCAL SEARCH METHOD FOR THE TASK OF OPERATIONAL PLANNING

E.B. Kozlovskaya, O.V. Patsuk

A modification of the local search algorithm is considered using tournament selection for the task of operational planning in the production of plastic products. A comparative analysis of the results of the algorithm showed a direct dependence of the results on the presence of tournament selection and population size.

The program is designed for operational planning in the production of plastic products, where it is necessary to take into account the volume and period of production of each type of product with the minimum number of changes in equipment settings. The objective of optimization is to minimize the number of product shifts in the production plan. It is proposed to modify the genetic algorithm using tournament selection for the task of planning types of products at production facilities. This algorithm is a local search method that allows you to gradually improve a certain result in some vicinity of the known solution.

Purpose. *The goal is to minimize the number of product shifts in the production plan.*

Methodology of work: *the article used methods of system analysis, operations research, optimization theories, economic and mathematical methods and statistical methods of analysis.*

Results: *on average, the solution is most quickly found with an initial population size of 100 individuals, and this time is less than the largest average values by 2 times. Tournament selection, reducing time costs, reduces the likelihood of finding an optimal solution.*

Practical implications. *Results are useful on production lines to distribute capacity loads.*

Keywords: *genetic algorithm; local search method; capacity load planning task; tournament selection*

Введение

В настоящее время увеличивается количество работ по совершенствованию системы управления организациями с помощью применения автоматизированных систем управления. В связи с этим возникает необходимость в унифицировании средств составления расписания на вычислительной технике. Поэтому прописываются алгоритмы к созданию оперативного расписания на производстве пластмассовых изделий, для которого в последствии создается алгоритмическое обеспечение.

Такой подход к решению задачи оперативного планирования на производстве учитывает требования к вычислительным ресурсам, которые задействованы для решения распределение загрузки производственных мощностей. В этом заключается их теоретическая сложность [1, с. 14]. Одной из штрафных функций в такой задаче являются жесткие временные ограничения на решение проблемы оперативного планирования.

Одним из распространенных методов для решения задачи размещения таких как: определение типов продукции на конвейере, профессиональных кадров на рабочих местах, работы машин по сменам – является метод локального поиска [2, с. 33]. Применение данного метода позволяет оперативно найти локальные оптимумы задачи (например, количество смен на производственной линии для изготовления трех видов пластмасс), а использование разных генетических алгоритмов отличаются тем, что с их помощью возможно получение решения в виде глобального оптимума (напри-

мер, наименьшего количество затрат с получением максимально выручки). Задача проверки найденного оптимума является трудной задачей [3, с. 23].

Применение генетического алгоритма для решения задачи загрузки мощностей позволяет использовать последовательный подбор и вариативность комбинирования параметров с применением механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Подключение к алгоритму стратегии турнирной селекции позволило дополнительно увеличить скорость схождения алгоритма и, во многих случаях, точность решения.

Рассматриваемая в литературе классическая задача в теории дискретного размещения использует n узлов (например, количества станков на производстве) в сети. Такую задачу называют r -медианная [4, с. 61]. Целевой функцией является минимизация общей суммы взвешенных расстояний между каждым узлом сети и ближайшим из выбранных узлов. Генетические алгоритмы [5, с. 231], применяемые для задачи составления оперативного планирования [6, с. 216], сводят эту задачу к решению размещения на трехмерной решетке (время-продукт-оборудование). В таком виде в существующих решениях не используется турнирная селекция, что определило актуальность выбранной темы. Проведенные эксперименты доказали эффективность применения турнирной селекции, за счет увеличения скорости схождения алгоритма и точности решения. Элитной особью выбирается такая особь, у которой лучшее значение целевой функции/функций [7, с. 84].

Цель работы

Целью исследования является выявление эффективности применения турнирной селекции в генетическом алгоритме для повышения точности результата решения задачи загрузки производства пластмассовых изделий с непрерывным процессом составления плана загрузки оборудования предприятия.

Существующие задачи размещения применяются часто непосредственно при застройке городов, в архитектуре, транспортиров-

ке, также имеют опосредованное применение [8, с. 37]. С середины XX века, задачи размещения использовались с целью определения оптимального состава различных технических систем, либо ассортимента продукции и не были логически связаны с размещением в геометрическом понимании [9, с. 93]. Была выявлена эффективность использования локального метода. Один из примеров метода, это ALA-процедура, используемая для решения р-медианной задачи [10, с. 34] и процедура k-средних (алгоритм в кластерном анализе) имеет одинаковую структуру и представляет собой из распространенный алгоритм в теории размещения.

Постановка задачи описывается следующим образом: имеется S объектов, нужно найти в них g групп (т.е. выполнить разбиение S объектов на g непересекающихся подмножеств) таким образом, чтобы, основываясь на некоей мере подобия, объекты, принадлежащие одной и той же группе, были подобны (обладали схожими значениями параметров), а объекты, принадлежащие различным группам, различались бы значениями параметров. Это задача четкой кластеризации [11, с. 186].

Группа данных является сущностью, которая субъективно интерпретируется, исходя из области знаний эксперта [12, с. 87]. Например, используется группа видов пластика: акрил, поликарбонат, полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, а методы изготовления пластмассы: горячий метод формирования, предварительная сушка полимеров, подготовка материалов к переработке, таблетирование материалов и их предварительный разогрев. Тогда идеальная группа может быть определена как ряд точек, который изолирован и компактен [13, с. 28].

Материалы и методы работы

Для решения задачи оперативного планирования использовались методы системного анализа, исследования операций, теории оптимизации, экономико-математические и статистические методы анализа.

Целью оптимизации является минимизация числа переключений видов продукции при составлении плана производства. Предлага-

ется модификация генетического алгоритма с турнирной селекцией для задачи планирования видов продукции на производственных мощностях. Данный алгоритм является методом локального поиска, позволяющего постепенно улучшать определенный результат в некоторой окрестности известного решения. В результате скрещивания создаются потомки, которые формируют популяцию следующего поколения. Обновленная таким образом популяция не обязательно должна включать одних только особей-потомков.

Доля обновляемых особей равна U , $0 < U < 1$, в новое поколение попадает потомков, n – размер популяции, а $(1 - U)n$ особей в новой популяции являются наиболее приспособленными родительскими особями (элитные особи). Параметр U называют разрыв поколений [14, с. 111].

Суть этого принципа заключается в том, что в новое поколение включаются лучшие родительские особи. Их число может быть от 1 и больше. Использование турнирной селекции позволяет не потерять хорошее промежуточное решение, но, в то же время, из-за этого алгоритм может перестать искать следующий локальный экстремум [15, с. 183].

Основным принципом локального поиска является перебор смежных решений таким образом, чтобы целевая функция минимизация числа переключений видов продукции при составлении плана производства [16, с. 233].

Процесс локального поиска для задачи размещения на производстве пластиковых изделий:

- Генетический алгоритм начинается с двух исходных решений, где производственная линия с горячим методом формирования пластмассы создает поликарбонат и акрил.
- Несколько вариантов решения генерируются из окрестности текущего состояния (изменяется вид продукции, методы прежние) под управлением параметров алгоритма (увеличивается/уменьшается количество производственных линий с определенным методом, количество смен и профессиональных кадров).

- Новая стратегия используется для определения нового текущего решения среди возможных решений.
- При настройке параметров управления вышеуказанный процесс поиска повторяется до тех пор, пока не будет удовлетворен критерий завершения алгоритма (минимальное количество смены методов изготовления пластмассы).
- Завершить процесс поиска и вывести результаты оптимизации [17, с. 83].

Окрестность относится к набору всех решений, которые могут быть получены путем выполнения операции с текущим решением (эту операцию можно назвать действием соседства). Тогда существенная разница соседства заключается в различных действиях соседства Действие соседства – это функция, с помощью которой соответствующий набор соседних решений генерируется для текущего решения m [18, с. 607]. Например: для проблемы типа bool текущее решение: $m = 1001$, когда действие соседства определено как переключение одного из битов, набор соседних решений $U(m) = \{0001, 1001, 1011, 1000\}$ Где $U(m) \in M$. Аналогично, когда действие соседства определено как замена смежных битов, результирующий набор соседних решений $U(m) = \{0101, 1101, 1010\}$.

Результаты исследования и их обсуждение

Приоритетом для задачи оперативного планирования на производстве пластмассовых изделий является объем и срок производства каждого вида продукции с минимальным количеством изменения в настройках оборудования. Поскольку особенностью производства пластмассы является разнообразие применяемых методов для изготовления пластика: горячий метод формирования, предварительная сушка полимеров, подготовка материалов к переработке, таблетирование материалов и их предварительный разогрев. Затем, для изготовления пластиковых изделий на производстве делают литье пластика под давлением, интрузию, литье прессованием, заливку и метод намотки. Наиболее частыми видами пластмассы являются: акрил, поликарбонат, полиэтилен, полипропилен, полиэтиленереф-

талат, поливинилхлорид [19, с. 3]. Целевая функция – число переключений видов продукции – стремится к минимуму при ограничениях, связанных с выполнением производственного плана.

Для статистической обработки результатов генетической алгоритм используется в двух вариантах: с турнирной селекцией и без нее. В экспериментах устанавливались различные значения размера популяции: 30, 50, 100, 300, 1000. Условием принудительной остановки работы алгоритма выбрано время: 90 минут. Было проведено 300 запусков алгоритма на каждый размер популяции (см. табл. 1).

Таблица 1.

Результаты работы программы без турнирной селекции

Размер популяции	Лучший результат	Худший результат	Среднее значение	Доля попыток, достигающая лучшего результата	Время работы программы, обеспечивающее лучший результат
1000	43	54	44,1	0,9	1587
300	43	54	43,1	0,9	746
100	43	58	44,6	0,2	954
50	54	66	44,9	0	632
30	54	66	44,3	0	538

Лучшим результатом является 43 переключения за 90 минут работы программы для популяций размером 100, 300 и 1000 особей. В таблице 2 приведена доля попыток от всех запусков, при которых достигается лучший результат, а также время работы программы, за которое найдено решение. По данным из этой таблицы построен график, показанный на рисунке 1.

В 90% запусков было найдено лучшее решение (равное 43 переключениям) за минимальное время при размере популяции в 300 особей. Несмотря на то, что при размере популяции в 300 особей алгоритм требует несколько большего времени для останова, именно при таком размере популяции в 90% запусков программы было найдено лучшее решение.

Экстремумы графика находятся в прямой зависимости – наибольшему значению популяции (1000 особей) соответствует наибольшее время лучшего решения (1587 с.), а наименьшему зна-

чению популяции (30 особей) соответствует наименьшее время лучшего решения (538 с.). Аналогичная зависимость наблюдается при сравнении времени лучшего решения для популяции в 300 и 50 особей – для популяции в 300 особей время выше, чем для популяции в 50 особей. Однако проведенный опыт показал, что для популяции с исходным размером 100 особей прямая зависимость отсутствует. Лучшее время в данном случае выше, чем у популяции в 300 особей. А в сравнении этой популяции с наибольшей, исходное значение которой больше в 10 раз, лучшее время для популяции в 100 особей уступает всего на 12% от лучшего времени популяции в 1000 особей. Таким образом, время работы программы для поиска лучшего решения не находится в полной зависимости от размера популяции. В среднем программа работала дольше всего в популяциях, где выборка была максимальной и минимальной. Для популяции с исходным размером 100 особей наблюдается минимальное среднее время, которое потребовалось программе для поиска лучшего решения.

В дальнейшем для исследования влияния турнирной селекции на результат работы алгоритма использовались популяции в 300 особей. Схема работы турнирного отбора: из популяции, содержащей G строк, выбирается случайным образом t строк, и лучшая строка записывается в промежуточный массив (между выбранными строками проводится турнир). Эта операция повторяется G раз. Строки в полученном промежуточном массиве затем используются для скрещивания (случайным образом). Размер группы строк, отбираемых для турнира часто равен 2. В этом случае говорят о двоичном или парном турнире. За t принимается численность турнира. Чем больше подгрупп участвует в турнире, тем меньше шансов у особей попасть в отбор [20, с. 57].

Преимуществом использования турнирной селекции является отсутствие дополнительных вычислений и упорядочивания строк в популяции по возрастанию приспособленности. Таким образом селекция становится ближе к реальности, потому что успешность особи во многом определяется ее окружением – точек решений,

входящих в область допустимых/лучших решений, насколько они лучше или хуже ее.

В программу вводятся следующие штрафные функции, которые корректируют работу алгоритма, без превышения времени работы на производственных линиях, с сопутствующим количеством персонала:

$$f_2(x) = - \sum_{p=1}^P \max\{0, W_p -$$

$$-V_p \sum_{i=1}^{T_p} \sum_{k=1}^K Y_{i,k,p} (3 - C'_{y'(i-1),k,y'i,k})\}$$

$$f_3(x) = - \sum_{i=1}^I \max\{0, W_{\min} -$$

$$- \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P V'_{y'p} (3 - C'_{y'(i-1),k,y'i,k})\}$$

Определим также целевую функцию:

$$f(X) = |X| = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P x_{i,k,p},$$

Экономический смысл функции $f_2(X)$ – общее количество продукции, выпускаемой с отставанием от плана, функции $f_3(X)$ – суммарное недовыполнение суточного минимума выпускаемой продукции.

Тогда Шаг 2 нашего генетического алгоритма примет вид:

Шаг 2. Выбрать случайным образом три индекса родительских особей $j_{11}, j_{12}, j_{21}, j_{22}, j_{11} \neq j_{12} \neq j_{21} \neq j_{22}$. Выбрать случайным образом $j_3 \in W$. Здесь w – некоторое множество индексов особей (элементов массива A), оцениваемых как ”плохие”.

Шаг 2.1. Если $f_2(x_{j_{11}}) + f_3(x_{j_{11}}) > f_2(x_{j_{12}}) + f_3(x_{j_{12}})$ то $j_1 = j_{12}$;

Шаг 2.2. Если $f_2(x_{j_{11}}) + f_3(x_{j_{11}}) < f_2(x_{j_{12}}) + f_3(x_{j_{12}})$ то $j_1 = j_{11}$;

Шаг 2.3. Если $f_2(x_{j_{11}}) + f_3(x_{j_{11}}) = f_2(x_{j_{12}}) + f_3(x_{j_{12}})$ и $f(x_{j_{11}}) > f(x_{j_{12}})$ то $j_1 = j_{12}$, иначе $j_1 = j_{11}$.

Результаты работы программы с применением турнирного отбора представлены в таблице 2. Исходный размер популяции 300 особей. Запуск проводился 300 раз. Время ограничения программы 90 минут.

Таблица 2.

Время работы программы с турнирной селекцией, в сек.

Минимальное значение	Максимальное значение	Доля попыток	Среднее значение
683	1367	0,6	749,7

С применением турнирной селекции лучшим результатом является 43 переключения, который найден за 737 секунды, что на 9 секунд лучше результата по поиску лучшего решения с размером исходной популяции в 300 особей без применения турнирной селекции. Однако с турнирной селекцией только в 60% от всех запусков программы найдено лучшее решение (без него – в 90% запусков).

Заключение

Применение турнирной селекции позволило повысить эффективность генетического алгоритма с жадным агломеративным оператором скрещивания для задачи планирования производства. Эффективность алгоритма прямо пропорциональна размеру популяции, что требует дополнительных исследований в направлении разработки алгоритмов с динамической популяцией, чтобы выстраивать экономически выгодное оперативное планирование на производствах. В среднем быстрее всего отыскивается решение при исходном размере популяции в 100 особей, и это время меньше наибольших средних значений в 2 раза. Турнирная селекция, снижая временные затраты, снижает и вероятность нахождения оптимального решения.

Список литературы

1. Бельц Е.А. Оптимизация размещения предприятий с учетом минимально допустимых расстояний // Вестник Омского ун-та. 2012. No 4. С. 13-16.
2. Гранберга А.Г. Движение регионов России к инновационной экономике / Под ред. А. Г. Гранберга, С. Д. Валентея; Ин-т экономики РАН. М.: Наука, 2006. С. 23-45.
3. Григорьева Н.С. Задача составления минимизирующих максимальное временное смещение расписаний для параллельных процессоров. М.: Издательство МАИ, 2016. 246 с.

4. Еремеев А.В., Коваленко Ю.Б. О задаче составления расписаний с группировкой машин по технологиям. // Дискретный анализ и исследование операций, 2011, Том 18, №5. С. 54-79.
5. Казаковцев Л.А. Метод жадных эвристик для систем автоматической группировки объектов // Дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01. Красноярск: Сибирский федеральный университет. Красноярск, 2016. 429 с.
6. Казаковцев Л.А., Антамошкин А.Н. Алгоритм для календарного планирования // Вестник КрасГАУ, № 4 (103), 2015. С. 215-219.
7. Коффман Э.Г. Теория расписаний и вычислительные машины. М.: Издательский центр «Академия», 2010. С. 156.
8. Кочетов Ю.А. Сравнение метаэвристик для решения двухуровневой задачи размещения предприятий и фабричного ценообразования. // Дискретный анализ и исследование операций, 2015. Т. 22, № 3 (123). С. 36-54.
9. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписания. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. 220 с.
10. Пантелеев А.В. Применение эволюционных методов глобальной оптимизации в задачах оптимального управления детерминированными системами. М.: Издательство МАИ, 2013. 128 с.
11. Пацук О.В. Инвестиционная активность региона. // Вестник СибГАУ им. академика М. Ф. Решетнева, 2012. Выпуск 3 (43). С. 184-189.
12. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. 2-е издание, дополненное и исправленное. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 140 с.
13. Хлутков А. Д. Экономическая безопасность России в условиях глобализации // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. СПб., 2010. – № 4. С.25-55.
14. Antamoshkin A., Masich I. Pseudo-Boolean Optimization in Case of an Unconnected Feasible Set, in: “Models and Algorithms for Global Optimization” // Optimization and Its Applications, V.4, 2007. P. 111–122.
15. Bozkaya B.A. Genetic Algorithm for the p-Median Problem. // Facility Location Applications and Theory, New York, 2002. P. 179-232
16. Gonzalez-Martin S., Ferrer A., Juan A.A., Riera D. M. H. Solving non-smooth arc routing problems throughout biased- randomized heuristics.//

- Computer-based Modelling and Optimization in Transportation. Springer International Publishing, 2014. P. 451.
17. Kapoor A. Hands-On Artificial Intelligence for IoT. Mumbai: Packt Publishing, 2019. P. 267.
 18. Kazakovtsev L.A., Gudyma M.N., Antamoshkin A.N. Genetic Algorithm with Greedy Heuristic for Capacity Planning // International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, 2014. P. 607-613.
 19. Kazakovtsev L.A., Antamoshkin A.N., Fedosov V.V. Greedy Heuristic Algorithm for Solving Series of EEE Components Classification Problem // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. Vol. 122. Article ID 012011.
 20. Kirszenblat D. Dubins networks: Thesis. // Melbourne Department of Mathematics and Statistics of the University of Melbourne, 2011. P. 56-89.

References

1. Beltz E.A. Optimizatsiya razmeshcheniya predpriyatiy s uchetom minimal'no dopustimyykh rasstoyaniy [Optimizing the location of enterprises taking into account the minimum permissible distances]. *Bulletin of Omsk University*, 2012, no. 4, pp. 13-16.
2. Granberg A.G. Dvizhenie regionov Rossii k innovatsionnoy ekonomike [Movement of Regions of Russia to an Innovative Economy] / Ed. A. G. Granberg, S. D. Valentey; In-t economics of the Russian Academy of Sciences. M.: Science, 2006, pp. 23-45.
3. Grigorvea N.S. *Zadacha sostavleniya minimiziruyushchikh maksimal'noe vremennoe smeshchenie raspisaniy dlya parallel'nykh protsessorov* [The task of compiling maximum time offset schedules for parallel processors]. M.: MAI Publishing House, 2016, 246 p.
4. Eremeev A.V., Kovalenko Yu.B. O zadache sostavleniya raspisaniy s gruppировкой mashin po tekhnologiyam [On the task of compiling schedules with the grouping of machines by technology]. *Diskretnyy analiz i issledovanie operatsiy* [Discrete analysis and research of operations], 2011, vol. 18, no. 5, pp. 54-79.
5. Kazakovtsev L.A. *Metod zhadnykh evristik dlya sistem avtomaticheskoy gruppировki obektov* [Method of greedy heuristics for systems of auto-

- matic grouping of objects]. Dis.... Dr. Techn. sciences: 05.13.01. Krasnoyarsk: Siberian Federal University. Krasnoyarsk, 2016, 429 p.
6. Kazakovtsev L.A., Antamoshkin A.N. Algoritm dlya kalendarnogo planirovaniya [Algorithm for scheduling]. *Bulletin of KrasGAU*, 2015, no. 4 (103), pp. 215-219.
 7. Coffman E.G. *Teoriya raspisaniy i vychislitel'nye mashiny* [Schedule Theory and Computing Machines]. M.: Publishing Center "Academy," 2010, 156 p.
 8. Kochetov Yu.A. Sravnenie metaevristik dlya resheniya dvukhurovnevoy zadachi razmeshcheniya predpriyatiy i fabrichnogo tsenoobrazovaniya [Comparison of metaheuristics for solving the two-level problem of location of enterprises and factory pricing]. *Diskretnyy analiz i issledovanie operatsiy* [Discrete analysis and research of operations], 2015, vol. 22, no. 3 (123), pp. 36-54.
 9. Lazarev A.A., Gafarov E.R. *Teoriya raspisaniya. Zadachi i algoritmy* [Schedule theory. Tasks and algorithms]. M.: Moscow State University, 2011, 220 p.
 10. Panteleev A.V. *Primenenie evolyutsionnykh metodov global'noy optimizatsii v zadachakh optimal'nogo upravleniya determinirovannymi sistemami* [Application of evolutionary methods of global optimization in problems of optimal control of deterministic systems]. M.: MAI Publishing House, 2013, 128 p.
 11. Spider O.V. Investitsionnaya aktivnost' regiona [Investment activity of the region]. *Bulletin of SibGAU named after academician M.F. Reshetnev*, 2012, issue 3 (43), pp. 184-189.
 12. Sigal I.H., Ivanova A.P. *Vvedenie v prikladnoe diskretnoe programmirovaniye: modeli i vychislitel'nye algoritmy* [Introduction to applied discrete programming: models and computational algorithms]. 2nd edition, supplemented and corrected. M.: FIZMATLIT, 2007, 140 p.
 13. Khlutkov A. D. Ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii v usloviyakh globalizatsii [Economic security of Russia in the context of globalization]. *Bulletin of Education and Development of Science of the Russian Academy of Natural Sciences*. St. Petersburg, 2010, no. 4, pp. 25-55.
 14. Antamoshkin A., Masich I. Pseudo-Boolean Optimization in Case of an Unconnected Feasible Set, in: "Models and Algorithms for Global Optimization". *Optimization and Its Applications*, 2007, vol. 4, pp. 111-122.

15. Bozkaya B.A. Genetic Algorithm for the p-Median Problem. *Facility Location Applications and Theory*, New York, 2002, pp. 179-232
16. Gonzalez-Martin S., Ferrer A., Juan A.A., Riera D. M. H. Solving non-smooth arc routing problems throughout biased- randomized heuristics. *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*. Springer International Publishing, 2014, p. 451.
17. Kapoor A. Hands-On Artificial Intelligence for IoT. Mumbai: Packt Publishing, 2019, p. 267.
18. Kazakovtsev L.A., Gudyma M.N., Antamoshkin A.N. Genetic Algorithm with Greedy Heuristic for Capacity Planning. *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, 2014, pp. 607-613.
19. Kazakovtsev L.A., Antamoshkin A.N., Fedosov V.V. Greedy Heuristic Algorithm for Solving Series of EEE Components Classification Problem. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 122, article ID 012011.
20. Kirszenblat D. Dubins networks: Thesis. Melbourne Department of Mathematics and Statistics of the University of Melbourne, 2011, pp. 56-89.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Козловская Елена Борисовна, аспирант

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева
пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 31, г. Красноярск,
660123, Российская Федерация
epatsuk@mail.ru*

Пацук Ольга Викторовна, доцент кафедры «Менеджмент», кандидат экономических наук

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева
пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 31, г. Красноярск,
660123, Российская Федерация
opatsuk@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena B. Kozlovskaya, graduate student

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russian
Federation*

epatsuk@mail.ru

SPIN-code: 3433-5798

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8045-7697>

Olga V. Patsuk, associate professor «Management», Candidate of Economic Sciences

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russian
Federation*

opatsuk@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6891-2538>

ResearcherID: AAA-8932-2021

Поступила 28.02.2022

После рецензирования 11.03.2022

Принята 29.03.2022

Received 28.02.2022

Revised 11.03.2022

Accepted 29.03.2022