

15. Slimani I., Farissi I. El, et Achchab S. Configuration and implementation of a daily artificial neural network-based forecasting system using real supermarket data, *Int. J. Logist. Syst. Manag.*, 2017, Vol. 28, No. 2, pp. 144-163.
16. Pushnina I.V. Sistema upravleniya podvizhnym ob"ektom v usloviyakh neopredelennosti [The control system of a moving object in conditions of uncertainty], *Nauka i obrazovanie na rubezhe tysyacheletiy: Sb. nauchno-issledovatel'skikh rabot* [Science and education at the turn of the millennium: A collection of research papers]. Kislovodsk, 2018, pp. 65-74.
17. Wang X., Wang C. Time series data cleaning: A survey, *IEEE Access*, 2020, Vol. 8, pp. 1866-1881. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
18. Data-driven smart cities: Big Data, analytics, and security, 2018. Available at: <https://skelia.com/articles/data-driven-smart-cities-big-data-analytics-and-security/> (accessed 14 september2020).
19. Kim J., Tae D., Seok J. A survey of missing data imputation using generative adversarial networks, *Proc. of the 2020 Int. Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication, ICAIIC 2020*, pp. 454-456. DOI: 10.1109/ICAIIIC48513.2020.9065044.
20. Dmitrieva I.A., Mileshko L.P., Begun O.V., Berezhnaya A.V. Information Modernization of The General Theory Of Environmental Safety Ensuring, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. III International Scientific Conference*. Krasnoyarsk, 2021, pp. 12072.
21. Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Mileshko L.P., Sklifus R.V. Impact Of Road Transport on The Environmental Situation In The Urban Environment, *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS*. Krasnoyarsk, Russia, 2021, pp. 2600-2606.

Статью рекомендовала к опубликованию к.т.н., доцент Н.А. Иванова.

Аламир Хайдер Сагбан Хуссейн – Южный федеральный университет; e-mail: alamir@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Заргарян Елена Валерьевна – e-mail: ezargaryan@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Заргарян Юрий Артурович – e-mail: yazargaryan@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Alamir Haider Sagban Hussein – Southern Federal University, e-mail: alamir@sfedu.ru; Taganrog, Russia; the department of automatic control systems; postgraduate student.

Zargaryan Elena Valerevna – e-mail: ezargaryan@sfedu.ru; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zargaryan Yuri Arturovich – e-mail: yazargaryan@sfedu.ru; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 658.512

DOI 10.18522/2311-3103-2021-6-132-140

В.И. Данильченко, Е.В. Данильченко, В.М. Курейчик

МЕТАЭВРИСТИКА НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНИЯ КОЛОНИИ БЕЛЫХ КРОТОВ

Алгоритмы оптимизации, вдохновленные миром природы, превратились в мощные инструменты для решения сложных задач. Однако у них все же есть некоторые недостатки, требующие исследования новых и более совершенных алгоритмов оптимизации. В связи с этим, при решении NP полных задач появляется необходимость в разработке новых методик решения данного класса задач. Одним из таких методик может стать метаэвристика на основе поведения колонии белых кротов. В этой статье предлагается новый метаэвристический алгоритм, называемый алгоритмом слепых белых кротов. Этот алгоритм был разработан на основе социального поведения слепых кротов в поисках пищи и защиты колонии от

вторжений. Предлагаемое решение сможет преодолеть многие недостатки обычных алгоритмов оптимизации, включая попадание в ловушку локальных минимумов или низкую скорость сходимости. Цель данной работы заключается в разработке алгоритма оптимизации сложной целевой функции. Научная новизна заключается в разработке генетического алгоритма на основе поведения колонии белых кротов для решения NP полных задач. Постановка задачи в данной работе заключается в следующем: оптимизировать поиск решения сложных функций путем применения, алгоритма на основе поведения колонии белых кротов. Практическая ценность работы заключается в создании новой архитектуры поиска, позволяющей использовать разработанный алгоритм для эффективного решения NP полных задач, а также проводить сравнительный анализ с существующими аналогами. Принципиальное отличие от известных подходов в применении новой структуры бионспирированного поиска на основе поведения колонии белых кротов, которое позволит исключить попадание в локальный минимум или низкую скорость сходимости. Приведенные результаты вычислительного эксперимента, показали преимущества предложенного в работе многомерного подхода к решению задач размещения элементов СБИС по сравнению с существующими аналогами. Таким образом, проблема создания методов, алгоритмов и программного обеспечения для решения NP полных задач в настоящее время является актуальной задачей.

Генетические алгоритмы; графы и гиперграфы; эволюционные вычисления; САПР; многомерные вычисления; производства электронных средств; мета-эвристический алгоритм; алгоритм оптимизации; алгоритм белых кротов.

V.I. Danilchenko, Y.V. Danilchenko, V.M. Kureichik

METAHEURISTICS BASED ON THE BEHAVIOR OF A COLONY OF WHITE MOLES

Optimization algorithms inspired by the natural world have turned into powerful tools for solving complex problems. However, they still have some disadvantages that require the study of new and more advanced optimization algorithms. In this regard, when solving NP complete problems, there is a need to develop new methods for solving this class of problems. One of these methods can be metaheuristics based on the behavior of a colony of white moles. This paper proposes a new metaheuristic algorithm called the blind white moles algorithm. This algorithm was developed based on the social behavior of blind moles in search of food and protecting the colony from intruders. The proposed solution will be able to overcome many disadvantages of conventional optimization algorithms, including falling into the trap of local minima or a low convergence rate. The purpose of this work is to develop an algorithm for optimizing a complex objective function. The scientific novelty lies in the development of a genetic algorithm based on the behavior of a colony of white moles for solving NP complete problems. The problem statement in this paper is as follows: to optimize the search for solutions to complex functions by applying an algorithm based on the behavior of a colony of white moles. The practical value of the work lies in the creation of a new search architecture that allows using the developed algorithm for the effective solution of NP complete problems, as well as conducting a comparative analysis with existing analogues. The fundamental difference from the known approaches is in the application of a new bioinspired search structure based on the behavior of a colony of white moles, which will allow to exclude falling into a local minimum or a low convergence rate. The presented results of the computational experiment showed the advantages of the proposed multidimensional approach to solving the problems of placing VLSI elements in comparison with existing analogues. Thus, the problem of creating methods, algorithms and software for solving NP complete problems is currently of particular relevance.

Genetic algorithms; graphs and hypergraphs; evolutionary calculations; CAD; multidimensional calculations; electronic means production; meta-heuristic algorithm; optimization algorithm; white moles algorithm.

Введение. Мета-эвристические алгоритмы были в основном получены из поведения биологических систем (например, генетический алгоритм, оптимизация роя частиц) или физические системы (например, имитация отжига). Возможно, основной причиной выбора и разработки этих алгоритмов является простота в формулировке и понимание их развития.

Среди известных алгоритмов оптимизации можно упомянуть генетический алгоритм. Этот алгоритм представляет собой метод оптимизации, впервые предложенный Холландом 1975 [1]. Этот алгоритм основан на идее эволюции в природе и рассматривает проблему на полностью случайной основе. Этот метод основан на некоторых биологических методах подобно генетике и мутации, поиск осуществляется для того, чтобы найти лучшие ответы в каждом поколении по сравнению с предыдущим. Среди особенностей генетических алгоритмов их способность работать параллельно и способность искать очень большие и сложные пространства [2–4]. Другим хорошо известным алгоритмом оптимизации является оптимизация роя частиц [5], который был разработан для задач оптимизации, и его возможности до сих пор доказали свою полезность как для непрерывных, так и для дискретных функций. В этом алгоритме каждая частица рассматривается как член общества, использующий опыт своей предыдущей частицы, а также опыт других для достижения конечной цели. Этот алгоритм способен находить глобальный оптимум рассматриваемой функции на последующих итерациях [5–7]. Алгоритм имитационного отжига был представлен в основном с целью моделирования между минимизацией целевой функции задачи и охлаждением до тех пор, пока она не будет минимизирована [7–9]. В этом алгоритме первый ответ является важным параметром и играет важную роль и изменяется в зависимости от типа задачи. Алгоритм искусственной пчелиной колонии разработан на основе социального поведения медоносных пчел в их колониях, ищущих источники питания. Этот алгоритм имеет много преимуществ и некоторые недостатки, вызванные тем, что некоторые ограничения и параметры были определены для того, чтобы устранить недостатки этого метода и увеличить скорость сходимости в различных задачах, что привело к лучшей производительности [11]. Среди ключевых компонентов интеллекта роя можно назвать самоорганизацию и разделение труда. Групповое сотрудничество является ключом к достижению оптимального и идеального ответа в кратчайшие сроки.

В этой работе используется разработанный алгоритм колонии белых кротов для оптимизации числовой функций, Тесты проделались на бенчмарке (функции Розенброка), чтобы доказать лучшую производительность этого алгоритма по сравнению с другими хорошо известными оптимизационными алгоритмами. Сравнения показали лучшую скорость сходимости и большую точность в достижении оптимального отклика по сравнению с другими алгоритмами оптимизации.

Колония слепых кротов. Слепые голые кроты живут в подземных туннелях в жарких странах и в зеленых зонах с почти фиксированной температурой и влажностью. Температура в туннелях, где живут слепые голые кроты, всегда должна быть от 30 до 35°C. Каждый туннель имеет длину почти три километра [11]. Эти животные-единственные мелкие млекопитающие, которые живут в сообществе и в больших колониях, точно так же, как пчелиные и муравьиные колонии. Каждая колония состоит из трех групп кротов следующим образом:

1. Королева в сопровождении одного-трех самцов.
2. Кроты – рабочие, которые ищут источники пищи и строят подходящие гнезда для королевы и потомства.
3. Солдаты – кроты, которые отвечают за очистку туннелей и защиту колонии от вторжений.

В реальной колонии количество кротов - солдат намного выше, чем рабочих кротов. Туннели, в которых живут кроты, строятся с уникальной регулярностью. В этих туннелях есть определенные помещения, построенные для специальных назначения: кухонное помещение, используется для сбора пищи, туалетное помещение используется для размещения отходов, а когда они заполняются, для этой

цели выкапывается еще одна камера. Есть также несколько комнат-лабиринтов. Когда захватчики входят в туннель, солдаты быстро блокируют их прорыв в туннель своими отходами. Там, где их скорость для этого процесса невелика, один из солдат жертвует своей жизнью, чтобы помочь другим солдатам найти достаточное время, чтобы остановить прорыв захватчиков.

Алгоритм колонии слепых кротов. Это алгоритм оптимизации, разработанный на основе социального поведения слепых голых кротов в большой колонии. Процесс исследования начинается с центра колонии, где живут королева и потомство. Стоит отметить, что в целях упрощения рабочие кроты и кроты солдаты помещены в одну единственную группу, которая здесь называется рабочими кротами. Вначале с производством исходной популяции слепых голых кротов колония начинает работать во всем проблемном пространстве совершенно случайным образом. В алгоритме учитывается, что численность населения в два раза превышает количество источников пищи, и каждый из источников пищи представляет собой ответ на проблемное пространство. Давайте определим некоторые параметры следующим образом:

$$\text{Популяция} = [M_1, M_2, \dots, M_N], \quad (1)$$

где N это число членов, связанных с числом неизвестных параметров задачи. Исходный поиск источников питания в территориальных границах определяется следующим образом:

$$x_i = x_i^{Min} + \beta(x_i^{Max} - x_i^{Min}), \\ i = 1, \dots, S, \quad (2)$$

где x_i представляет собой i источник питания и β это случайная величина в интервале $[0, 1]$ и S представляет количество источников пищи.

Таким образом, источники пищи (результат поиска) в процессе поиска рассматриваются как цели, которые должны быть найдены рабочими кротами (например, поиск местоположения источников пищи и их соседей, определение объема обогащения, выгрузка источников пищи и хранение их в кухонном помещении).

Хаотичное движение рабочих кротов начинается от центра колонии к источникам пищи и их соседям. Кроме того, рабочие кроты выполняют процесс рытья лабиринтных туннелей, чтобы найти источники пищи. Условия источников питания с точки зрения температуры, а влажность всегда должна быть подходящей и почти стабильной.

Эти условия рассматриваются в алгоритме как коэффициент затухания в виде случайной величины в интервале $[0, 1]$ для определения движения используемых кротов от целевых источников питания в сторону их соседей. Кроме того, необходимо учитывать подземную температуру в алгоритме, определяемом следующим образом:

$$H(x) = \rho(x)C(x) \frac{\Delta T(x, t)}{\Delta t} \\ (\rho C) = f_s(\rho C)_s + f_a(\rho C)_s + f_w(\rho C)_w \\ f_s + f_s + f_w = 1, \quad (3)$$

где H представляет изменение температуры почвы с глубины x как его переменная. $\rho(x)$ и $C(x)$ являются тепловыми свойствами грунта, т.е. плотностью и удельной теплоемкостью соответственно. ρ и C связанные переменные, во время движения переменные изменяются с изменением расстояния, однако из-за упрощения

алгоритма ρ и C рассматривались как постоянные (должен быть в диапазоне [2 4]). $\frac{\Delta T(x,t)}{\Delta t}$ показывает скорость изменения температуры в течении времени и обновляется на каждом шаге алгоритма. Символ f представляет вклад (в процентах) каждого рабочего крота, в то время как подстрочные индексы s , a , w указывают на компоненты почвы, например песок, воздух и воду соответственно. Их сумма равна единице, чтобы иметь среднюю сумму для получения g C . При переходе к поиску источников пищи коэффициент затухания A должен обновляться на каждой итерации. При достижении нулевой температуры (например, в реальных условиях, когда температура склоняется к 30°C) поиск окрестностей источников пищи осуществляется с меньшей интенсивностью, а при приближении температуры к среднему значению в интервале [0, 1] проход окрестностей источников пищи осуществляется с большей интенсивностью. Рассмотрим этот факт по следующему уравнению [16]:

$$A_i^t = A_i^t \left[1 - \exp\left(\frac{-\alpha t}{T}\right) \right], \quad (4)$$

где T выводится из уравнения (3) и α является случайной величиной в интервале [0, 1], $\alpha = 0.95$ как фиксированный параметр, и t -шаг итерации.

Далее для каждого источника питания посылаются два рабочих крота, таким образом, количество источников питания составляет половину от числа рабочих кротов в колонии. После поиска продуктов их первоначальное качество и путь к ним сохранились в памяти. Возвращаясь в колонию, рабочие кроты, которые несут информацию об источниках пищи, делятся информацией с другими и с королевой. Найденные источники питания классифицируются с вероятностью P королевой в таблице, отсортированной от самых высоких до самых низких значений, на основе как качества этих источников питания, так и расстояние до источников питания из центра колонии. Вероятность P вычисляется следующим образом:

$$P_i = \frac{F_i = FS_i \cdot R_i}{\sum_{j=1}^n F_i}, \quad (5)$$

где F_i оценивается по используемым кротам, FS_i это показатель основного источника пищи, R_i это критерий минимального маршрута до источника пищи и N это количество источников пищи, которое составляет половину от числа рабочих кротов.

Перспективный источник пищи с наибольшей вероятностью выбирается королевой. Затем два рабочих крота, которые несут информацию об этом источнике пищи, отбираются для продвижения к источнику пищи. Добравшись до этого источника пищи, один из двух нанятых кротов, который является главой группы, случайным образом выбирает случайную рабочую особь и руководит процессом сбора пищи. Другой рабочий крот становится во главе другой группы и, выбрав несколько других особей, начинает обыскивать окрестности источника пищи. Все сопровождающие кроты будут нести информацию о наличии пищевых ресурсов в районе, прилегающем к основному источнику пищи. Процесс сбора пищи из продовольственных ресурсов и одновременный поиск их соседей позволит сократить время выхода на оптимальное решение при реализации предложенного алгоритма и, следовательно, повысить скорость поиска. Этот процесс повторяется для всех продовольственных ресурсов вместе с их окрестностями до тех пор, пока не останется ни одного продовольственного ресурса. Следует отметить, что поиск соседей в районе каждого источника питания осуществляется в разных направлениях. Направления находятся в 45 градусах друг от друга. Существует 8 направлений поиска соседей источника пищи.

Следующая часть реализации алгоритма включает в себя рассмотрение защиты колонии и предотвращения проникновения захватчиков в туннели. При реализации предложенного алгоритма те точки низкой стоимостью определяются на каждой итерации и рассматриваются как захватчики и исключаются из процесса реализации (т.е. не рассматриваются как члены всей колонии). Число исключенных точек в каждой итерации увеличивается по отношению к числу исключенных точек в предыдущей итерации на коэффициент. Он вычисляется по следующему уравнению [16]:

$$B_i^t = \varphi \cdot B_i^{t-1}, \quad (6)$$

где $\varphi \geq 1$ является фактором, который задается разработчиком и B_i^t – количество выбывших точек функции; i^{th} источник питания в итерации t .

Заметим, исключенные точки заменяются новыми случайно выбранными. Используя такую замену, осуществляется мутация в алгоритме, так что новые члены, имеющие новую информацию, предотвратят попадание алгоритма в ловушку локальных минимумов. Псевдокод алгоритма выглядит следующим образом:

Алгоритм 1 – Псевдокод алгоритма поведения колонии белых кротов

```

Begin
f(x), X = [x1, x2, ..., xN]^T // целевая функция
Xi, { i=1, L, N}, Bi, { i=1, ..., N}. // инициализация популяции.
Define  $\alpha, \beta, \varphi$ , // близкий сосед и дальний сосед от потенциального источника пищи.
while ( t < Максимальное количество итераций)
//Генерировать новое решение по уравнению (2).
    if ( rand < Ai ) // Выбор решения из числа наилучших решений по уравнению (5).
        //Создание локального решение (соседи вокруг источника пищи)
        end if
        Создание нового решения путем случайного поиска
        if ( rand < Bi & f(x_i^t) < f(x_optimum^t))
            //Анализ и сохранение нового решения в памяти крота
            end if // поиск новых решений в текущей итерации и сравните с решениями в предыдущей
        end
    while end (получите оптимальный отклик алгоритма)

```

Экспериментальные результаты. Для того чтобы оценить эффективность предложенного алгоритма по сравнению с другими введенными алгоритмами оптимизации, мы сравнили эффективность и точность алгоритма поведения колонии белых кротов с известными алгоритмами, описанными в этой работе. Для теста выбрана функция Розенброка. Для тестовой функций, 50 независимых запусков были применены различные случайные переменные для генерации случайных переменных, каждая из которых содержит 5000 итераций, и численность населения была установлена в 100 особей. Более 50 особей (размер > 50) производительность алгоритма оптимизации уменьшается потому, что алгоритм будет сталкиваться с несколькими оптимальными решениями. В этом случае необходимо распределить полученные решения в рассматриваемом пространстве, это также добавляет сложности при вычислении оптимального решения.

Рассмотрена производительность алгоритма колонии белых кротов и проведен сравнительный тест на функции Розенброка.

Каждый алгоритм был выполнен 50 независимых раз и каждый раз с различными случайными значениями для генерации случайных решений. На рис. 1 показан результат теста.

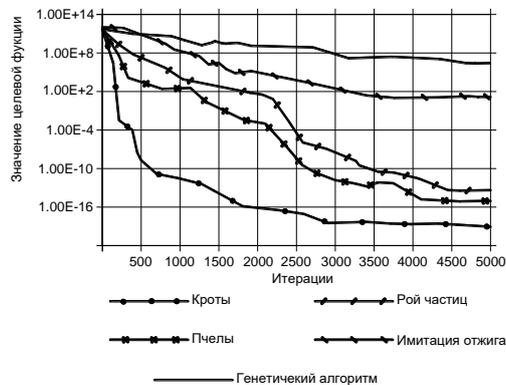


Рис. 3. Результат теста на функции Розенброка

Тест показал, что алгоритм колонии белых кротов имеет лучшую сходимость, чем другие алгоритмы оптимизации. Другими словами, это доказывает, что предложенный алгоритм имеет способность выхода из локального минимума в проблемном пространстве и достигает глобального минимума. Таким образом, за счет применения нового алгоритма, получаем лучшую производительность, используя предлагаемый алгоритм для оптимизации мультимодальных и многомерных функций и задач.

Заключение. Предложен новый метаэвристический алгоритм для решения глобальных оптимизационных задач. Новый алгоритм основан на социальном поведении слепых белых кротов в поиске источников пищи и защите колонии от вторжения. Проведен тест на функции Розенброка и полученные результаты по сравнению с другими оптимизационными алгоритмами. Тест показал лучшую производительность предложенного алгоритма.

Поддержка. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90151 и при поддержке Фонда содействия инновациям по договору № 437ГУЦЭС8-Д3/62058 от 05 октября 2020 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тарасов В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
2. *Yang X-S.* A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization // Stud. Comput. Intell. – 2010. – Vol. 284. – P. 65-74.
3. *Данильченко В.И., Курейчик В.М.* Генетический алгоритм планирования размещения СБИС // Известие ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 2. – С. 75-79.
4. *Данильченко В.И., Курейчик В.М.* Классификация и анализ методов решения задачи размещения СБИС // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2018. – Вып. 1.
5. *Danilchenko V.I., Danilchenko Y.V., Kureichik V.M.* Bio-inspired Approach to Microwave Circuit Design // IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM. EWDTs 2020. – P. 362-366. – DOI: 10.1109/EWDTs 50664.2020.9224737.
6. *Калентьев А.А., Гарайс Д.В., Добуш И.М., Бабак Л.И.* Структурно-параметрический синтез СВЧ транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма с использованием моделей монолитных элементов // Доклады ТУСУРа. – Декабрь 2012. – № 2 (26). – Ч. 2. – С. 104-112.

7. *Tang Maolin and Yao Xin.* A memetic algorithm for VLSI floorplanning // IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics–Part B: Cybernetics. – 2007. – No. 37 (1).
8. *Горяинов А.Е., Добуш И.М., Бабак Л.И.* Построение параметрических моделей пассивных компонентов СВЧ монолитных интегральных схем с использованием программы Extraction-P.
9. *Kokolov A.A., Salnikov A.S., Sheyerman F.I. and Babak L.I.* Broadband Double-Balanced SiGe BiCMOS Mixer With Integrated Asymmetric MBaluns // Int. Conf. “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines” (Dynamics-2017), Omsk, Russia, 2017 (accepted for publication).
10. *Akay B., Karaboga D.* A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization // Inf. Sci. – 2010. – Vol. 192. – P. 20-142.
11. *Taherdangko M., Shirzadi M.H., Bagheri M.H.* A novel meta-heuristic algorithm for numerical function optimization: blind, naked mole-rats (BNMR) algorithm // Scientific Research and Essays. – 2012. – No. 7 (41). – P. 3566-3583.
12. *Bocklemann D.E. and Eisenstadt W.R.* Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. – July 1995. – Vol. MTT-43, No. 7. – P. 520-523.
13. *Yang Y., Kamel M.S.* An aggregated clustering approach using multi-ant colonies algorithms // Pattern Recognition. – 2006. – Vol. 39 (7). – P. 1278-1289.
14. *Zhabin D.A., Garays D.V., Kalentyev A.A., Dobush I.M. and Babak L.I.* Automated Synthesis of Low Noise Amplifiers Using S-parameter Sets of Passive Elements // Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2017), Kuala Lumpur, Malaysia, 2017 (accepted for publication).
15. *Kalentyev A.A., Garays D.V. and Babak L.I.* Genetic-Algorithm-Based Synthesis of Low-Noise Amplifiers with Automatic Selection of Active Elements and DC Biases // European Microwave Week 2014, Rome, Italy, October 2014. – P. 520-523.
16. *Babak L.I., Kokolov A.A. and Kalentyev A.A.* A New Genetic-Algorithm-Based Technique for Low Noise Amplifier Synthesis // European Microwave Week 2012, Amsterdam, The Netherlands, November 2012. – P. 520-523.
17. *Mann G.K.I., Gosine R.G.* Three-dimensional min–max-gravity based fuzzy PID inference analysis and tuning // Fuzzy Sets and Systems. – 2005. – Vol. 156. – P. 300-323.
18. *Голицын Г.А. Петров В.М.* Информация и биологические принципы оптимальности: Гармония и алгебра живого. – М.: КомКнига 2005.
19. *Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.* Моделирование систем. Динамические и гибридные системы: учеб.-метод. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
20. *Abraham A., Grosan G., Ramos V.* Swarm Intelligence in Data Mining. – Berlin. Heidelberg: SpringerVerlag, 2007. – 267 p.

REFERENCES

1. *Tarasov V.B.* Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science]. Moscow: Editorial URSS, 2002, 352 p.
2. *Yang X-S.* A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization, *Stud. Comput. Intell.*, 2010, Vol. 284, pp. 65-74.
3. *Danilchenko V.I., Kureychik V.M.* Geneticheskii algoritm planirovaniya razmeshcheniya SBIS [Genetic algorithm of VLSI placement planning], *Izvestie YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2019, No. 2, pp. 75-79.
4. *Danilchenko V.I., Kureychik V.M.* Klassifikatsiya i analiz metodov resheniya zadachi razmeshcheniya SBIS [Classification and analysis of methods for solving the VLSI placement problem], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* [Computer science, computer engineering and engineering education], 2018, Issue 1.
5. *Danilchenko V.I., Danilchenko Y.V., Kureichik V.M.* Bio-inspired Approach to Microwave Circuit Design, *IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM. EWDTS 2020*, pp. 362-366. DOI: 10.1109/EWDTS 50664.2020.9224737.
6. *Kalen'ev A.A., Garays D.V., Dobush I.M., Babak L.I.* Strukturno-parametricheskii sintez SVCh tranzistornykh usiliteley na osnove geneticheskogo algoritma s ispol'zovaniem modeley monolitnykh elementov [Structural-parametric synthesis of microwave transistor amplifiers based on a genetic algorithm using models of monolithic elements], *Doklady TUSURa* [Reports of TUSUR], December 2012, No. 2 (26), Part 2, pp. 104-112.

7. *Tang Maolin and Yao Xin*. A memetic algorithm for VLSI floorplanning, *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics–Part B: Cybernetics*, 2007, No. 37 (1).
8. *Goryainov A.E., Dobush I.M., Babak L.I.* Postroenie parametricheskikh modeley passivnykh komponentov SVCh monolitnykh integral'nykh skhem s ispol'zovaniem programmy Extraction-P [Construction of parametric models of passive components of microwave monolithic integrated circuits using the Extraction-P program].
9. *Kokolov A.A., Salnikov A.S., Sheyerman F.I. and Babak L.I.* Broadband Double-Balanced SiGe BiCMOS Mixer With Integrated Asymmetric MBaluns, *Int. Conf. "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics-2017), Omsk, Russia, 2017* (accepted for publication).
10. *Akay B., Karaboga D.* A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization, *Inf. Sci.*, 2010, Vol. 192, pp. 20-142.
11. *Taherdangkoo M., Shirzadi M.H., Bagheri M.H.* A novel meta-heuristic algorithm for numerical function optimization: blind, naked mole-rats (BNMR) algorithm, *Scientific Research and Essays*, 2012, No. 7 (41), pp. 3566-3583.
12. *Bocklemann D.E. and Eisenstadt W.R.* Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, July 1995, Vol. MTT-43, No. 7, pp. 520–523.
13. *Yang Y., Kamel M.S.* An aggregated clustering approach using multi-ant colonies algorithms, *Pattern Recognition*, 2006, Vol. 39 (7), pp. 1278-1289.
14. *Zhabin D.A., Garays D.V., Kalentyev A.A., Dobush I.M. and Babak L.I.* Automated Synthesis of Low Noise Amplifiers Using S-parameter Sets of Passive Elements, *Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2017), Kuala Lumpur, Malaysia, 2017* (accepted for publication).
15. *Kalentyev A.A., Garays D.V. and Babak L.I.* Genetic-Algorithm-Based Synthesis of Low-Noise Amplifiers with Automatic Selection of Active Elements and DC Biases, *European Microwave Week 2014, Rome, Italy, October 2014*, pp. 520-523.
16. *Babak L.I., Kokolov A.A. and Kalentyev A.A.* A New Genetic-Algorithm-Based Technique for Low Noise Amplifier Synthesis, *European Microwave Week 2012, Amsterdam, The Netherlands, November 2012*, pp. 520-523.
17. *Mann G.K.I., Gosine R.G.* Three-dimensional min–max-gravity based fuzzy PID inference analysis and tuning, *Fuzzy Sets and Systems*, 2005, Vol. 156, pp. 300-323.
18. *Golitsyn G.A. Petrov V.M.* Informatsiya i biologicheskie printsipy optimal'nosti: Garmoniya i algebra zhivogo [Information and biological principles of optimality: Harmony and algebra of the living]. Moscow: KomKniga 2005.
19. *Kolesov Yu.B., Senichenkov Yu.B.* Modelirovanie sistem. Dinamicheskie i gibridnye sistemy: ucheb.-metod. Posobie [Modeling of systems. Dynamic and hybrid systems: an educational and methodological guide]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2006.
20. *Abraham A., Grosan G., Ramos V.* Swarm Intelligence in Data Mining. Berlin. Heidelberg: SpringerVerlag, 2007, 267 p.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент Ю.П. Волощенко.

Данильченко Евгения Владимировна – Южный Федеральный университет; e-mail: lipkina@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел: +79525691761; кафедра САПР.

Данильченко Владислав Иванович – e-mail: vdanilchenko@sfedu.ru; тел: +79526088561; кафедра САПР.

Курейчик Виктор Михайлович – e-mail: vmkureychik@sfedu.ru; тел: +79282132730; кафедра САПР; д.т.н.; профессор.

Danilchenko Yevgenia Vladimirovna – Southern Federal University; e-mail: lipkina@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79525691761; the department of computer-aided design.

Danilchenko Vladislav Ivanovich – e-mail: vdanilchenko@sfedu.ru; phone: +79526088561; the department of computer-aided design.

Kureichik Viktor Mikhailovich – e-mail: kur@tgn.sfedu.ru; phone: +79282132730; the department of computer-aided design; dr. of eng. sc.; professor.