

REVIEW OF MODERN APPROACHES OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CONTROL SYSTEMS OF THE COMPLEX OBJECTS

G. A. Samigulina, T. I. Samigulin*

Institute of Information and Computational Technologies,
050010, Republic of Kazakhstan, Almaty
*Satbayev University,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty

The article contains an analytical review of the intelligent control systems for the complex objects based on the genetic algorithms, particle swarm optimization and algorithms of ant colony optimization for the period from 2015–2018.

The importance of using bioinspired approaches of artificial intelligence and the prospects for their development are shown. The main advantages and disadvantages of using various intelligent algorithms for the development of the intelligent control systems of the complex objects are given. The relevance of the development of intelligent systems in the creation of the innovative intelligent technologies for various practical applications in industry, oil and gas industry, transport and other areas are shown.

Successful use of the bioinspired algorithms for solving a certain range of the optimization problems showed the promise of using genetic algorithms and algorithms of swarm intelligence.

The analysis of the applied problems presented in the article for the period 2015–2018 and examples sufficiently reveal the scientific significance and prospects of this area of artificial intelligence.

Key words: analytical review, complex object, intellectual control systems, genetic algorithm, particle swarm optimization, ant colony optimization.

References

1. Xin-HuaQiu, ZhenWang, QingXue. Investment in deepwater oil and gas exploration projects: a multi-factor analysis with a real options model // *Petroleum Science*. Springer, 2015. V. 12, Issue 3. P. 525–533.
2. Samigulina G. A. Immune network modeling technology for complex objects intellectual control and forecasting system: Monograph. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2015.
3. Zaharov V. N. Intellektualnye sistemy upravleniya: osnovnye ponyatiya i opredeleniya. *Izvestiya RAN. TiSU*. 1997. T. 3. S. 138–145.
4. Guiyang Wang, Shuo Xiao, Xi Chen, Xin Li. Application of genetic algorithm in automatic train operation // *Wireless Personal Communications*. Springer, 2018. V. 99. P. 1–10.
5. Longda Wang, Xingcheng Wang, Dawei Sun, Hua Hao. Multi-objective Optimization Improved GA Algorithm and Fuzzy PID Control of ATO System for Train Operation // *Proceedings of the International Conference on Life System Modeling and Simulation, LSMS 2017*. Springer, 2017. P. 13–22.

The work was carried out according to the grant of the Committee Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (2018–2020), on the topic „Development of cognitive Smart technology for intelligent control systems of the complex objects based on the approaches of the artificial intelligence“.

6. Dimitrios Efthymiou, Katerina Chrysostomou, Maria Mofroulaki, Georgia Aifantopolou. Electric vehicles charging infrastructure location: a genetic algorithm approach // *European Transport Research Review*. Springer, 2017. V. 9, Issue 2. P. 27.
7. Menad Nait Amar, Nourddine Zeraibi, Kheireddine Redouane. Optimization of WAG Process Using Dynamic Proxy, Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization // *Arabian Journal for Science and Engineering*. Springer Berlin Heidelberg. 2018. V. 43. P. 1–14.
8. Karina Aryanti Permatasari, Totok R. Bianto, Sony Andriyanto, Sonny Irawan, Ridho Bayaji. Optimization of Water Recycle at Steam Flood EOR Using Genetic Algorithm // *ICIPEG 2016*. Springer, Singapore, 2017.
9. Fatemeh Minian, Hamed Sabouhi, Jafar Hushmand, Ahmad Hallaj, Hiwa Khaledi, Mojtaba Mohammadpour. Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. Springer India. V. 8. P. 594–601.
10. Thinh Cong Tran, Pavel Brandstetter, Vo Hoang Duy, Hau Huu Vo, Chau Dong. PID Speed Controller Optimization Using Online Genetic Algorithm for Induction Motor Drive // *Proceedings of International Conference on Advanced Engineering Theory and Applications*. AETA 2016: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences. Springer, Cham. 2017. P. 564–576.
11. Kumaran Rajarathinam, James Barry Gomm, Ding-Li Yu, Ahmed Saad Abdelhadi. PID controller tuning for a multivariable glass furnace process by genetic algorithm // *International Journal of Automation and Computing*. Springer 2016. V. 13, Issue 1. P. 64–72.
12. Ahmed Alkamachi, Ergun Erçelebi. Modelling and Genetic Algorithm Based-PID Control of H-Shaped Racing Quadcopter // *Arabian Journal for Science and Engineering*. Springer, 2017. V. 42, Issue 7. P. 2777–2786.
13. Jamali A., Khaleghi E., Gholaminezhad I., Nariman-Zadeh N., Gholaminia B., Jamal-Omidi A. Multi-objective genetic programming approach for robust modeling of complex manufacturing processes having probabilistic uncertainty in experimental data // *Journal of Intelligent Manufacturing*. Springer US, 2017. V. 28, Issue 1. P. 149–163.
14. Son Thai, Nam-Il Kim, Jaehong Lee, Joo-Won Kang. Optimum design of cable nets by using genetic algorithm // *International Journal of Steel Structures*. Springer, 2017. V. 17, Issue 3. P. 1183–1198.
15. Jing Wang, Naichao Song, Enyu Jiang, Da Xu, Weihua Deng, Ling Mao. The Application of the Particle Swarm Algorithm to Optimize PID Controller in the Automatic Voltage Regulation System // *Proceedings of International Conference on Intelligent Computing for Sustainable Energy and Environment*. LSMS 2017, ICSEE 2017: Advanced Computational Methods in Energy, Power, Electric Vehicles and Their Integration. Springer Singapore, 2017. P. 529–536.
16. Xialong Xu, Hanzhong Rong, Marcello Trovati, Mark Liprott, Nik Bessis. CS-PSO: chaotic particle swarm optimization algorithm for solving combinatorial optimization problems // *Soft Computing*. Springer, 2018. V. 22, Issue 3. P. 783–795.
17. Shu-Zhi Gao, Xiao-Feng Wu, Liang-Liang Luan, Jie-Sheng Wang, Gui-Cheng Wang. PSO optimal control of model-free adaptive control for PVC polymerization process // *International Journal of Automation and Computing*. Springer, 2017. Vol 14, Issue 3. P. 1–10.
18. Fateh Berrouk, Kamel Bounaya. Optimal Power Flow For Multi-FACTS Power System Using Hybrid PSO-PS Algorithms // *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Springer, 2018. V. 29, Issue 2. P. 177–191.
19. Md Azharuddin, Prasanta K. Jana. PSO – based approach for energy-efficient and energy-balanced routing and clustering in wireless sensor networks // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 22. P. 6825–6839.

20. Vasu Ganji, Sivakumar Mangipudi, Ramalingaraju Manyala. A novel model order reduction technique for linear continuous-time systems using PSO-DV algorithm // *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Springer, 2017. V. 28, Issue 1. P. 68–77.
21. Alejandro Rodriguez-Molina, Miguel Gabriel Villarreal-Cervantes, Mario Aldape-Perez. An adaptive control study for the DC motor using metaheuristic algorithms // *Soft Computing*. Springer, 2017. P. 1–18.
22. Guo-Han Lin, Jing Zhang, Zhao-Hua Liu. Hybrid particle swarm optimization with differential evolution for numerical and engineering optimization // *International Journal of Automation and Computing*. Springer, 2018. V. 15, Issue 1. P. 103–114.
23. Haiping Ma, Sengang Ye, Dan Simon, Minrui Fei. Conceptual and numerical comparisons of swarm intelligence optimization algorithms // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 11. P. 3081–3100.
24. Liyi Zhang, Chao Xiao, Teng Fei. Improved ant colony optimization algorithm based on RNA computing // *Automatic Control and Computer Sciences*. Springer, 2017. V. 51. P. 366–375.
25. Yi Zhou, Fazhi He, Yimin Qiu. Dynamic strategy based parallel ant colony optimization on GPUs for TSPs // *Science China Information Sciences*. Springer, 2017. V. 60. P. 68–102.
26. Chinjiang Liu. Optimal design of high-rise building wiring based on ant colony optimization // *Cluster Computing*. Springer, 2018. P. 1–8.
27. Lei Yang, Kangshun Li, Wensheng Zhang, Zhenxu Ke. Ant colony classification mining algorithm based on pheromone attraction and exclusion // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 19. P. 5741–5753.
28. Zheng Enxing, Liu Ranran. Routing Technology in Wireless Sensor Network Based on Ant Colony Optimization Algorithm // *Wireless Personal Communications*. Springer, 2017. V. 95, Issue 3. P. 1911–1925.
29. Zhaojun Zhang, Funian Hu, Na Zhang. Ant colony algorithm for satellite control resource scheduling problem // *Applied Intelligence*. Springer, 2018. V. 48, Issue 2. P. 1–11.
30. Boubertakh H. Knowledge-based ant colony optimization method to design fuzzy proportional integral derivative controllers // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. Springer, 2017. V. 56, Issue 4. P. 681–700.
31. Chih-Ta Yen, Ming-Feng Cheng. A study of fuzzy control with ant colony algorithm used in mobile robot for shortest path planning and obstacle avoidance // *Microsystem Technologies*. Springer, 2018. V. 24, Issue 1. P. 125–135.
32. Salman A. Khan, Amjad Mahmood. Fuzzy goal programming-based ant colony optimization algorithm for multi-objective topology design of distributed local area networks // *Neural Computing and Applications*. Springer, 2017. Vol 28, Issue 8. P. 1–19.
33. Chiranjit Changdar, Rajat Kumar Pal, G. S. Mahapatra. A genetic ant colony optimization based algorithm for solid multiple travelling salesman problem in fuzzy rough environment // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 16. P. 4661–4675.
34. Seyed Mohsen Mousavi, Ardeshir Bahreininejad, S. Nurmaya Musa, Farazila Yusof. A modified particle swarm optimization for solving the integrated location and inventory control problems in a two-echelon supply chain network // *Journal of Intelligent Manufacturing*. Springer, 2017. V. 28, Issue 1. P. 191–206.
35. Sidahmed Benabderrahmane. Combining boosting machine learning and swarm intelligence for real time object detection and tracking: towards new meta-heuristics boosting classifiers // *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*. Springer, 2017. V. 1, Issue 4. P. 410–428.
36. Xuewu Wang, Yingpan Shi, Yixin Yan, Xingsheng Gu. Intelligent welding robot optimization based on discrete elite PSO // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 20. P. 5869–5881.
37. Sankalop Arora, Satvir Singh. Butterfly optimization algorithm: a novel approach for global optimization // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 22, Issue 6. P. 1–20.

38. Redouane Boudjema, Diego Oliva. A multi-objective approach to weather radar network architecture // *Soft Computing*, 2018. V. 22, Issue 3. P. 1–18.
39. Ibrahim Kucukkoc. Integrating ant colony and genetic algorithms in the balancing and scheduling of complex assembly lines // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Springer, 2016. V. 82. P. 265–285.
40. Santosh Kumar Verma, Shekhar Yadav, Shyam Krishna Nagar. Optimization of Fractional Order PID Controller Using Grey Wolf Optimizer // *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Springer, 2017. V. 28, Issue 3. P. 314–322.
41. Yu-guang Zhong, Bo Ai. A modified ant colony optimization algorithm for multi-objective assembly line balancing // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 22. P. 6881–6894.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Г. А. Самигулина, Т. И. Самигулин*

Институт информационных и вычислительных технологий,
050010, г. Алма-Ата, Республика Казахстан

*Казахский технический университет им. К.И. Сатпаева,
050013, Алма-Ата, Республика Казахстан

УДК 004.89

В статье проведен аналитический обзор интеллектуальных систем управления сложными объектами, построенных на основе генетических алгоритмов, оптимизации роя частиц и алгоритмов оптимизации муравьиных колоний за период с 2015 по 2018 год. Показаны важность применения биоинспирированных подходов искусственного интеллекта и перспективы их развития. Приведены основные достоинства и недостатки применения различных интеллектуальных алгоритмов при построении интеллектуальных систем управления сложными объектами. Показана актуальность разработок интеллектуальных систем при создании инновационных интеллектуальных технологий для различных практических приложений в промышленности, нефтегазовой отрасли, транспорте и других областях.

Ключевые слова: аналитический обзор, сложный объект, интеллектуальные системы управления, генетические алгоритмы, оптимизация роя частиц, оптимизация муравьиных колоний.

Введение. В современном мире методы искусственного интеллекта (ИИ) в совокупности с новейшими разработками в области электронных вычислительных машин играют ведущую роль в решении сложных прикладных задач. Высокая точность, быстродействие, возможность решения оптимизационных задач позволяют широко применять последние достижения в области ИИ для различных практических приложений. В последние годы наблюдаются быстрое развитие интеллектуальных алгоритмов и их успешное применение во всех отраслях человеческой жизнедеятельности, начиная от интеллектуального управления распределенными системами в нефтегазовой отрасли [1], заканчивая компьютерным молекулярным дизайном новых лекарственных препаратов с заданными свойствами [2].

Интеллектуальные системы способны синтезировать цель, принимать решение к действию, обеспечивать действие для достижения цели, прогнозировать значения параметров результата действия и сопоставлять их с реальными значениями, образуя обратную связь, корректировать цель или управление [3]. Часто для решения таких задач применяются биоинспирированные подходы и алгоритмы, созданные в результате наблюдения за

Работа выполнена по гранту Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (2018–2020 гг.) по теме „Разработка когнитивной Smart–технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта“.

процессами, происходящими в природе, например, передвижение колонии муравьев, передача сигналов по нейронам головного мозга и так далее. Активно развиваются алгоритмы роевой оптимизации, искусственные иммунные системы, генетические алгоритмы и др.

С каждым годом растет огромное количество работ по данной теме, что подтверждает актуальность и перспективность рассматриваемой области исследований. Предлагается обзор новейших разработок по интеллектуальным системам (за период 2015–2018 гг.) построенных на основе генетических алгоритмов, алгоритмов оптимизации роя частиц и алгоритмов муравьиных колоний.

1. Применение генетических алгоритмов (англ. Genetic algorithm) при разработке интеллектуальных систем управления и решении оптимизационных задач. Методы искусственного интеллекта часто используются в транспортной отрасли, в частности, в железнодорожной промышленности. Многоцелевая оптимизация на основе генетического алгоритма и метода нечеткого ПИД-регулирования рассматривается в качестве инструмента для создания автоматической системы управления поездом [4]. Исходя из характеристик работы поезда, создается многоцелевая модель процесса эксплуатации поездов. Применяется улучшенный генетический механизм популяции для улучшения работы генетического алгоритма и поиска оптимальных параметров: точности движения, энергосбережения и других критериев. Рассчитанные оптимальные параметры обеспечивают безопасное движение поезда.

В статье [5] принцип генетического алгоритма применяется для оптимизации кривой скорости движения поезда (англ. Automatic train operation, АТО). Система АТО поезда представляет собой сложную нелинейную систему, которая включает в себя множество входных и выходных переменных. Результат работы показывает, что использование генетического алгоритма имеет значительные преимущества в решении задачи глобальной оптимизации сложных нелинейных систем, в данном случае при наличии таких исходных данных, как маршруты и динамические параметры поездов. Индекс скорости системы, индекс пунктуальности, индекс парковки, индекс энергосбережения отвечают заданным критериям и в тоже время достигают цели оптимизации.

Так как в ближайшем будущем ожидается увеличение объемов электрификации городского транспорта, то в работе [6] рассматривается применение генетического алгоритма для поиска оптимального расположения общедоступных зарядных устройств для электромобилей на примере города Салоники. По результатам моделирования в среде R показано, что, согласно прогнозируемому спросу на электромобили к 2020 году, всего 15 станций будут оптимально обеспечивать электроэнергией 80 % территории. Разработанное программное обеспечение на основе генетического алгоритма имеет открытый исходный код и доступно всем заинтересованным пользователям для создания оптимальной инфраструктуры электротранспорта.

Широко используются генетические алгоритмы при решении оптимизационных задач в нефтегазовой отрасли. Например, актуальна оптимизация процесса циклического впрыска воды и газа (англ. water alternating gas injection, WAG) в нефтяной пласт. Решение этой сложной задачи требует больших расчетов и вычислительных мощностей. В статье [7] предлагается для нахождения оптимальных параметров WAG (таких как скорость и время впрыска газа и воды) использовать генетический алгоритм и оптимизацию на основе муравьиных колоний. Результаты моделирования показывают, что генетический алгоритм и алгоритм колоний муравьев являются высокоэффективными подходами при решении задач комбинаторной оптимизации. В работе [8] применяется генетический алгоритм с

целью оптимизации процесса нагнетания в пласт теплоносителей и решения таких задач, как максимизация добычи нефти, минимизация затраченной энергии при выработке пара и минимизация сточных вод на эксплуатационной скважине. Прибыль от применения оптимизированных параметров составляет \$17618,75 в день.

В энергетике газотурбинная промышленность относится к одной из самых дорогих и важных. В исследованиях [9] разработана интеллектуальная система для оптимизации процесса обслуживания газотурбинных установок при помощи генетических алгоритмов. Исследован процесс технического обслуживания газовой турбины Siemens SGT600. Разработанный оптимизированный план обслуживания установки сокращает время простоя оборудования и снижает уровень общих затрат на 80 %. В работе [10] предложено применение генетического алгоритма для настройки параметров ПИД-регулятора скорости вращения привода переменного тока с управляемым асинхронным двигателем. В среде Mathwork Simulink произведено моделирование традиционного ПИД-регулятора и регулятора, настроенного при помощи генетического алгоритма, по результатам которого видно, что двигатель, управляемый интеллектуальным регулятором, работает более эффективно. В статье [11] рассматривается применение классического генетического алгоритма для настройки параметров ПИД-регулятора для многомерного и многосвязного процесса плавки стекла. Применение предложенного алгоритма показывает лучшую управляемость и устойчивость к помехам. В работе [12] представлены математическое моделирование Н-образного квадрокоптера и применение четырех ПИД-регуляторов для стабилизации положения летательного аппарата в пространстве, например, для набора требуемой высоты. Коэффициенты ПИД-регулятора настраиваются с использованием генетического алгоритма, целевая функция которого определена таким образом, чтобы минимизировать абсолютную ошибку отслеживания, перерегулирование и время переходного процесса. Результаты моделирования в среде MATLAB/Simulink показывают отличную скорость отклика системы с малой ошибкой регулирования. Помимо этого, разработанный контроллер устойчив к ошибкам датчиков, внешним возмущениям и неопределенностям параметров модели.

В статье [13] разработан многоцелевой алгоритм генетического программирования с равномерным распределением (англ. Multi-objective uniform-diversity genetic programming, MUGP), предназначенный для задач идентификации сложных нелинейных процессов с использованием некоторых экспериментальных входных-выходных данных. Полученные результаты идентификации показывают многообещающие результаты с точки зрения компенсации неопределенности в экспериментальных данных ввода-вывода.

Исследования [14] посвящены нелинейному анализу поведения кабельных сетей под статическими нагрузками. Представлена обобщенная процедура оптимизации кабельных сетей с использованием генетического алгоритма. Допустимое напряжение и максимальное напряжение смещения нейтрали рассматриваются как ограничения оптимизации, в то время как минимальный объем кабеля выбирается как целевая функция. Результаты моделирования подтверждают эффективность предлагаемой процедуры.

2. Алгоритм роя частиц (англ. particle swarm optimization, PSO). Опубликовано много научных работ по оптимизации на основе алгоритмов роя частиц. В статье [15] исследовано влияние алгоритма роя частиц на оптимизацию параметров ПИД-регулятора в системе автоматического регулирования напряжения (англ. Automatic voltage regulation, AVR) и произведено сравнение с настройкой системы при помощи генетических алгоритмов. Результаты моделирования показали, что система AVR, оптимизированная при помо-

щи PSO, обладает большей стабильностью и надежностью, что указывает на перспективу применения предлагаемого метода.

Комбинаторные задачи оптимизации, как правило, класса NP (англ. Non-deterministic polynomial), поэтому в исследовании [16] предлагается решение с помощью нового алгоритма оптимизации роя хаотических частиц (CS-PSO) который объединяет в себе метод поиска хаоса с алгоритмом оптимизации роя частиц (PSO). Для того чтобы уменьшить число комбинаций, применяются алгоритмы классификации для группировки подобных элементов в категории. Это позволяет более эффективно перебирать все варианты комбинирования и оптимизировать общий подход, при этом алгоритм поиска хаоса защищает PSO от преждевременной конвергенции. Экспериментальные результаты показывают, что новый алгоритм CS-PSO находит глобальный оптимум с меньшим количеством итераций в отличие от классического алгоритма.

Алгоритмы PSO широко применяются в химической промышленности. Полимеризация поливинилхлорида (ПВХ) представляет собой сложный промышленный нелинейный процесс с большой инерцией и запаздыванием. В работе [17] алгоритм оптимизации роя частиц применяется для настройки ключевых параметров регулятора MFA (англ. Model-free adaptive controller), для контроля температуры полимеризации. Результаты моделирования указывают на высокую эффективность управления на основе алгоритма PSO.

В работе [18] представлена эффективная гибридная оптимизация роя частиц и алгоритма поиска Хука-Дживса (англ. PatternSearch, PS) для решения проблемы поиска оптимального потока мощности с применением устройств гибкой системы передачи переменного тока (англ. Flexible AC transmission systems, FACTS). Цель предлагаемого метода заключается в объединении преимуществ PSO и PS для достижения наилучшего решения проблем минимизации общей стоимости генерации, снижения реактивных потерь и повышения стабильности напряжения. Предлагаемый метод выполняется на стандартной системе IEEE 30-bus. Результаты моделирования демонстрируют эффективность и потенциал предлагаемого метода.

Для осуществления эффективной маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях было предложено множество схем, однако большинство этих алгоритмов фокусируются только на эффективности сети, в которой каждый узел находит кратчайший путь к базовой станции (BS), но не говорится о балансировке энергии, что не менее важно для продления срока службы сети. В статье [19] предлагается применить алгоритмы маршрутизации и кластеризации на основе оптимизации роя частиц. Данный алгоритм создает компромисс между энергоэффективностью и балансировкой энергии, в то время как алгоритм кластеризации обеспечивает потребление энергии шлюзами и узлами датчиков и демонстрирует превосходство над другими подходами с точки зрения учета различных параметров сети.

В исследовании [20] представлена новая методика сокращения порядка модели для линейных систем в непрерывной временной области с использованием алгоритма PSO-DV (англ. Particle swarm optimization with differential evolutionary). Гибридный эволюционный алгоритм включает в себя лучшие качества оптимизации роя частиц и алгоритма дифференциальной эволюции. Цель предлагаемого метода состоит в том, чтобы определить оптимальную модель пониженного порядка для исходной SISO-системы (англ. Single input single output), минимизируя интегральную квадратичную ошибку (ISE) при единичном ступенчатом воздействии. Этот метод обладает такими преимуществами, как легкая реализация, хорошая производительность в сравнении с существующими методами сокращения порядка модели.

Сравнительное исследование различных мета-эвристических методов для задачи регулирования скорости двигателя постоянного тока при параметрической неопределенности представлено в работе [21]. Для точной настройки параметров управления двигателем предлагается несколько адаптивных стратегий, основанных на алгоритмах дифференциальной эволюции, оптимизации роя частиц, алгоритме летучей мыши (англ. Bat algorithm, BA), алгоритме светлячка (англ. Fire fly algorithm, FA), генетическом алгоритме и алгоритме поиска волка (англ. Wolf search algorithm, WSA). Во время моделирования в пакете «Igcse» программного обеспечения R для оценки качества выбраны следующие параметры — точность регулирования скорости, потребление энергии и время вычислений алгоритма. Результаты экспериментов показывают, что наиболее перспективными являются адаптивные гибридные стратегии муравьиных колоний вместе с алгоритмом роя частиц (англ. Ant colony with particle swarm optimization, AC-PSO) и дифференциальной эволюции (англ. Ant colony with differential evolution, AC-DE) ввиду лучшей производительности.

Научная статья [22] посвящена исследованию гибридного алгоритма роя частиц и дифференциальной эволюции для численных тестовых задач и оптимизации параметров ADRC контроллера (англ. Active disturbance rejection control). Подход дифференциальной эволюции помогает избежать алгоритму PSO попадания в локальный экстремум. Для оценки эффективности предлагаемого алгоритма применено 12 тестов от CEC2005 и 8 задач оптимизации от CEC2011. Полученные результаты указывают на то, что предложенный гибридный алгоритм обладает лучшей устойчивостью и адаптируемостью в нелинейных системах с дискретным временем и запаздыванием. В области оптимизации гибридизация представляет особый интерес для дальнейшего изучения, поскольку она является одной из наиболее эффективных стратегий для повышения производительности многих алгоритмов оптимизации.

В исследовании [23] сравниваются различные алгоритмы оптимизации роевого интеллекта (англ. Swarm Intelligence, SI), такие как PSO, FA, алгоритм искусственных пчел (англ. Artificial bee colony algorithm, ABC), алгоритм перетасовки лягушек (англ. Shuffled frog leaping algorithm, SFLA), алгоритм гравитационного поиска (англ. Gravitational search algorithm, GSA) и оптимизатор группового поиска (англ. Group search optimizer, GSO). В статье обсуждаются их концепции, основанные на биологических мотивах, и описываются алгоритмы. Произведены численные эксперименты на некоторых тестовых функциях для оптимизации и на комбинаторной задаче «о рюкзаке». По результатам исследований можно сказать, что усовершенствованная версия алгоритма роя искусственных пчел ABC лучше всего подходит для решения задач оптимизации непрерывных тестовых функций, в то время как алгоритмы SFLA и GSA предпочтительны для решения комбинаторных задач.

3. Алгоритм муравьиных колоний (англ. ant colony optimization, ACO). Статья [24] посвящена разработке модификации классического алгоритма муравьиных колоний с использованием подхода РНК-вычислений, которая представляет собой новый интеллектуальный алгоритм оптимизации на основе молекулярной биологии. Результаты работы алгоритма оцениваются по пяти экземплярам из библиотеки «проблем коммивояжера» (TSPLIB) и шести типичным тестовым функциям. Результаты экспериментов показывают, что предложенный алгоритм оптимизации муравьиной колонии с помощью РНК-вычислений превосходит классический алгоритм муравьиных колоний в надежности, скорости конвергенции и стабильности.

В работе [25] рассматривается применение мощностей графического процессора (англ. Graphical processor unit, GPU) для улучшения эффективности оптимизации колонии муравьев с использованием алгоритмов параллельной обработки данных. Применение нового параллельного АСО для решения задачи коммивояжера показало увеличение скорости расчетов до 44 раз при использовании всех мощностей GPU. Авторы предлагают применять данную стратегию для ускорения GPU в задачах обработки графики, изображения, видео и для программ автоматизированного проектирования САД (англ. Computer-aided design).

С ростом строительства и городской модернизации увеличивается число устанавливаемого информационного и электрооборудования в высотных зданиях, что создает проблемы для проектирования систем подачи электроэнергии. Для обеспечения нормальной работы электрооборудования, выбора разумного потребления электроэнергии, снижения затрат на инвестиции и техническое обслуживание в статье [26] предлагается применять алгоритм колоний муравьев для оптимизации расположения проводки электрооборудования в зданиях. Результаты моделирования показывают, что модель оптимизации на основе алгоритма муравьиных колоний позволяет сократить затраты на монтаж электрооборудования, контролировать падение напряжения и улучшает экономическую выгоду строительства.

Алгоритмы оптимизации муравьиных колоний успешно применяются при выполнении задач классификации в интеллектуальном анализе данных (англ. Data mining). Классический алгоритм имеет следующие недостатки – преждевременную конвергенцию и нахождение решения в локальном оптимуме. В исследовании [27] разработан новый алгоритм интеллектуального анализа генома муравьев «Ant-Miner PAE», модифицирующий структуру алгоритма. Эксперименты с двенадцатью общедоступными наборами данных показали, что прогноз, полученный с помощью Ant-Miner PAE, превосходит в точности существующие алгоритмы, такие как CN2, C4.5, PSO/ACO2, Ant-Miner и с Ant-Miner PB.

В статье [28] предложен алгоритм маршрутизации в беспроводной сенсорной сети (WSN) на основе оптимизации колоний муравьев. В WSN узлы датчиков собирают данные из среды и передают конечному пользователю через многоточечную связь. Алгоритм АСО позволяет сбалансировать потребление энергии в системе с целью продления срока службы сети путем эффективного уменьшения рассеивания энергии.

В связи с развитием космической отрасли и с увеличением числа спутников стала актуальна проблема планирования спутниковых систем (англ. Satellite control resource scheduling, SCRPS). Большое количество исследований посвящено решению задачи эффективного распределения различных средств измерения и управления для обеспечения нормальной работы спутников. Так как оптимизация колоний муравьев применяется во многих комбинаторных задачах, в исследовательской работе [29] представлен простой алгоритм оптимизации колоний муравьев (SACO) для решения проблемы SCRSP. Для того чтобы удовлетворить требованиям сети TT&C (англ. Telemetry, tracking and command) и сделать алгоритм более эффективным, параметры SACO выбираются постоянными, включая обновление и инициализацию феромона.

В работе [30] для проектирования нечетких ПИД-регуляторов (FPID) для систем с одним входом и выходом (SISO) и для систем с множеством входов и выходов (MIMO) предлагается применять метод оптимизации муравьиных колоний. В частности, этот метод используется для оптимизации параметров функции принадлежности, в качестве критерия оптимальности используется сумма квадратов ошибок. Моделирование динамических

систем, таких как перевернутый маятник и мини-вертолет, доказывает эффективность предлагаемого метода.

Исследовательская работа [31] посвящена изучению нечеткого управления с алгоритмом муравьиных колоний, используемым в мобильном роботе для планирования кратчайшего пути и преодоления препятствий. Предлагаемый в этой статье метод оптимизации муравьиной колонии (англ. Fast ant colony optimization, FАСО) минимизирует итеративную ошибку обучения алгоритма оптимизации колонии муравьев. Этот алгоритм находит самый короткий путь. Благодаря ультразвуковым преобразователям обнаруживаются любые препятствия перед мобильным роботом и регулируется угол его поворота. В экспериментальном моделировании наравне с такими методами, как генетические алгоритмы, оптимизации роя частиц и традиционным алгоритмом муравьиных колоний, расстояние пути, полученное при помощи FАСО, в среднем оказалось на 1,38 % короче.

В статье [32] сформулирована постановка задачи многоцелевой оптимизации с учетом пяти целей проектирования (надежности сети, доступности, финансовых затрат и др.). Для данной задачи предлагается применить алгоритм оптимизации колонии муравьев на основе нечеткого математического программирования (GPAСО), который в отличие от таких многоцелевых алгоритмов оптимизации, как классический генетический алгоритм и алгоритм муравьиных колоний (АСО), находит решения более высокого качества.

В работе [33] для решения задачи коммивояжера в нечеткой среде (mTSP) предложен генетический алгоритм оптимизации колонии муравьев. Данный гибридный алгоритм основан на концепциях двух методов: генетического алгоритма и алгоритма колонии муравьев. Каждый коммивояжер выбирает свой маршрут, используя АСО, а маршруты разных коммивояжеров (для создания полного решения) контролируются GA. При расчетах использовались циклический кроссовер (cycle crossover) и двухточечная мутация. Из полученных результатов можно сделать вывод, что добавленные функции повышают эффективность работы алгоритма.

В исследовании [34] рассматривается задача распределения сезонных продуктов между несколькими поставщиками (изготовителями), покупателями (розничными торговцами) и складами поставщиков. Основная цель работы – найти оптимальные местоположения потенциальных поставщиков в зависимости от количества покупателей таким образом, чтобы снизить общие затраты на транспортировку, хранение и закупочные расходы, при ограничениях на общий бюджет и производственные мощности каждого предприятия. Для решения этой задачи предлагается применить модифицированный алгоритм оптимизации роя частиц (MPSO) и проверить его производительность относительно генетического алгоритма. По результатам экспериментов MPSO более эффективен чем GA для решения задач крупномасштабных категорий, в то время как для простых задач оба алгоритма производительны одинаково.

Научный труд [35] посвящен созданию искусственного зрения в робототехнике с применением интеллектуальных подходов. Основная задача искусственного зрения – обнаружение объектов в режиме реального времени для быстрого принятия решений, а также их отслеживание при помощи алгоритма машинного обучения AdaBoost. Этот алгоритм анализирует различные участки входного изображения и выделяет из них информативные признаки. Для ускорения процесса обработки изображения предлагается применить такие методы оптимизации, как генетические алгоритмы, оптимизация роя частиц, алгоритм случайного блуждания (англ. Randomwalk) и гибридную комбинацию этих методов.

Результаты моделирования для интеллектуальной транспортной системы показали значительные улучшения в скорости обработки, эффективности и точности вычислений.

В работе [36] предлагается использовать дискретный алгоритм роя частиц для оптимизации траектории автоматической сварки соединений при помощи сварочного робота с целью сокращения времени сварки, увеличения производительности и качества сварки. В качестве критериев оптимизации рассматриваются кратчайшая длина пути и деформация сварки, помимо этого накладываются ограничения на избежание взаимного влияния двух сварочных роботов. Результаты моделирования показывают, что предлагаемая стратегия достигает желаемого эффекта оптимизации и превосходит базовые алгоритмы ACO, PSO, GAPSO в решении задачи нахождения оптимального пути сварочного аппарата.

Основным вкладом работы [37] является улучшение модифицированного алгоритма оптимизации колонии муравьев (MACO) для задачи балансировки сборочной линии модели SALBP. Предлагаемый метод должен свести к минимуму число рабочих станций, увеличить эффективность работы линии и минимизировать рабочую нагрузку. В результате тестирования алгоритм MACO находил оптимальное решение в пределах 200 секунд, при этом стандартное отклонение было всегда меньше 0,427, а улучшение производительности по сравнению с GA может составлять до 26,58 %.

В статье [38] предлагается использовать алгоритмы MPSO, NSGA-II, MOGWO, SPEA2 для многоцелевой оптимизации проектирования сети метеорологических радиолокаторов при наличии следующих ограничений: рельеф местности, зона охвата радара, расстояние между радаром, расстояние до линий электропередач и дорог. Результаты моделирования показывают, что модифицированный алгоритм роя частиц более предпочтителен для решения данной задачи, так как он характеризуется высоким быстродействием и точностью вычислений.

Исследования [39] посвящены важному вопросу управления производственными линиями. Разработан новый подход для оптимизации параллельной сборки продукции на основе алгоритма оптимизации муравьиных колоний совместно с генетическим алгоритмом. В соответствии с результатами испытаний статистически доказано, что интегрированный механизм генерации последовательности на основе генетического алгоритма помогает алгоритму оптимизации колоний при нахождении более качественных решений.

Разрабатываются новые биоинспирированные подходы. Например, статья [40] посвящена алгоритму оптимизации бабочки (англ. Butterfly optimization algorithm, BOA). Основная концепция метода для решения глобальных проблем оптимизации это имитирование поиска пищи и поведения бабочки, использующей свое обоняние для определения местоположения нектара и партнера. В настоящее время алгоритм BOA применяется для решения трех классических инженерных задач – оптимизация конструкций пружин, хода сварных швов и конструкции зубчатых передач. Также в работе представлены результаты моделирования на основе набора из 30 тестовых функций, по результатам которых можно судить об эффективности этой стратегии. Новый эволюционный алгоритм, известный как оптимизация серого волка (англ. Grey Wolf Optimizer, GWO), рассматривается в исследовательской работе [41] в качестве инструмента для оптимальной настройки параметров PID регулятора. Алгоритм GWO позволяет увеличить быстродействие системы и обеспечить желаемую устойчивость. Результаты моделирования указывают, что подход GWO превосходит по эффективности традиционные алгоритмы, такие как алгоритм Зиглера-Никольса и Нелдера-Мида для систем высокого порядка.

Закключение. Таким образом, большое количество публикаций за период с 2015 по 2018 год по данной тематике доказывает актуальность разработок на основе оптимизационных подходов искусственного интеллекта и интеллектуальных систем управления сложными объектами при создании инновационных технологий для различных практических приложений в промышленности, нефтегазовой отрасли, транспорте и других областях.

Список литературы

1. Xin-HuaQiu, ZhenWang, QingXue. Investment in deepwater oil and gas exploration projects: a multi-factor analysis with a real options model // *Petroleum Science*. Springer, 2015. V. 12, Issue 3. P. 525–533.
2. Samigulina G. A. Immune network modeling technology for complex objects intellectual control and forecasting system: Monograph. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2015.
3. Захаров В. Н. Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения // *Известия РАН. ТИСУ*. 1997. Т. 3. С. 138-145.
4. Guiyang Wang, Shuo Xiao, Xi Chen, Xin Li. Application of genetic algorithm in automatic train operation // *Wireless Personal Communications*. Springer, 2018. V. 99. P. 1–10.
5. Longda Wang, Xingcheng Wang, Dawei Sun, Hua Hao. Multi-objective Optimization Improved GA Algorithm and Fuzzy PID Control of ATO System for Train Operation // *Proceedings of the International Conference on Life System Modeling and Simulation, LSMS 2017*. Springer, 2017. P. 13–22.
6. Dimitrios Efthymiou, Katerina Chrysostomou, Maria Mofroulaki, Georgia Aifantopolou. Electric vehicles charging infrastructure location: a genetic algorithm approach // *European Transport Research Review*. Springer, 2017. V. 9, Issue 2. P. 27.
7. Menad Nait Amar, Nourddine Zeraibi, Kheireddine Redouane. Optimization of WAG Process Using Dynamic Proxy, Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization // *Arabian Journal for Science and Engineering*. Springer Berlin Heidelberg. 2018. V. 43. P. 1–14.
8. Karina Aryanti Permatasari, Totok R. Bianto, Sony Andriyanto, Sonny Irawan, Ridho Bayaji. Optimization of Water Recycle at Steam Flood EOR Using Genetic Algorithm // *ICIPEG 2016*. Springer, Singapore, 2017.
9. Fatemeh Minian, Hamed Sabouhi, Jafar Hushmand, Ahmad Hallaj, Hiwa Khaledi, Mojtaba Mohammadpour. Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. Springer India. V. 8. P. 594–601.
10. Think Cong Tran, Pavel Brandstetter, Vo Hoang Duy, Hau Huu Vo, Chau Dong. PID Speed Controller Optimization Using Online Genetic Algorithm for Induction Motor Drive // *Proceedings of International Conference on Advanced Engineering Theory and Applications. AETA 2016: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences*. Springer, Cham. 2017. P. 564–576.
11. Kumaran Rajarathinam, James Barry Gomm, Ding-Li Yu, Ahmed Saad Abdelhadi. PID controller tuning for a multivariable glass furnace process by genetic algorithm // *International Journal of Automation and Computing*. Springer 2016. V. 13, Issue 1. P. 64–72.
12. Ahmed Alkamachi, Ergun Erçelebi. Modelling and Genetic Algorithm Based-PID Control of H-Shaped Racing Quadcopter // *Arabian Journal for Science and Engineering*. Springer, 2017. V. 42, Issue 7. P. 2777–2786.
13. Jamali A., Khaleghi E., Gholaminezhad I., Nariman-Zadeh N., Gholaminia B., Jamal-Omidi A. Multi-objective genetic programming approach for robust modeling of complex manufacturing processes having probabilistic uncertainty in experimental data // *Journal of Intelligent Manufacturing*. Springer US, 2017. V. 28, Issue 1. P. 149–163.

14. Son Thai, Nam-Il Kim, Jaehong Lee, Joo-Won Kang. Optimum design of cable nets by using genetic algorithm // *International Journal of Steel Structures*. Springer, 2017. V. 17, Issue 3. P. 1183–1198.
15. Jing Wang, Naichao Song, Enyu Jiang, Da Xu, Weihua Deng, Ling Mao. The Application of the Particle Swarm Algorithm to Optimize PID Controller in the Automatic Voltage Regulation System // *Proceedings of International Conference on Intelligent Computing for Sustainable Energy and Environment*. LSMS 2017, ICSEE 2017: Advanced Computational Methods in Energy, Power, Electric Vehicles and Their Integration. Springer Singapore, 2017. P. 529–536.
16. Xialong Xu, Hanzhong Rong, Marcello Trovati, Mark Liprott, Nik Bessis. CS-PSO: chaotic particle swarm optimization algorithm for solving combinatorial optimization problems // *Soft Computing*. Springer, 2018. V. 22, Issue 3. P. 783–795.
17. Shu-Zhi Gao, Xiao-Feng Wu, Liang-Liang Luan, Jie-Sheng Wang, Gui-Cheng Wang. PSO optimal control of model-free adaptive control for PVC polymerization process // *International Journal of Automation and Computing*. Springer, 2017. Vol 14, Issue 3. P. 1–10.
18. Fateh Berrouk, Kamel Bounaya. Optimal Power Flow For Multi-FACTS Power System Using Hybrid PSO-PS Algorithms // *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Springer, 2018. V. 29, Issue 2. P. 177–191.
19. Md Azharuddin, Prasanta K. Jana. PSO – based approach for energy-efficient and energy-balanced routing and clustering in wireless sensor networks // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 22. P. 6825–6839.
20. Vasu Ganji, Sivakumar Mangipudi, Ramalingaraju Manyala. A novel model order reduction technique for linear continuous-time systems using PSO-DV algorithm // *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Springer, 2017. V. 28, Issue 1. P. 68–77.
21. Alejandro Rodriguez-Molina, Miguel Gabriel Villarreal-Cervantes, Mario Aldape-Perez. An adaptive control study for the DC motor using metaheuristic algorithms // *Soft Computing*. Springer, 2017. P. 1–18.
22. Guo-Han Lin, Jing Zhang, Zhao-Hua Liu. Hybrid particle swarm optimization with differential evolution for numerical and engineering optimization // *International Journal of Automation and Computing*. Springer, 2018. V. 15, Issue 1. P. 103–114.
23. Haiping Ma, Sengang Ye, Dan Simon, Minrui Fei. Conceptual and numerical comparisons of swarm intelligence optimization algorithms // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 11. P. 3081–3100.
24. Liyi Zhang, Chao Xiao, Teng Fei. Improved ant colony optimization algorithm based on RNA computing // *Automatic Control and Computer Sciences*. Springer, 2017. V. 51. P. 366–375.
25. Yi Zhou, Fazhi He, Yimin Qiu. Dynamic strategy based parallel ant colony optimization on GPUs for TSPs // *Science China Information Sciences*. Springer, 2017. V. 60. P. 68–102.
26. Chinjiang Liu. Optimal design of high-rise building wiring based on ant colony optimization // *Cluster Computing*. Springer, 2018. P. 1–8.
27. Lei Yang, Kangshun Li, Wensheng Zhang, Zhenxu Ke. Ant colony classification mining algorithm based on pheromone attraction and exclusion // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 19. P. 5741–5753.
28. Zheng Enxing, Liu Ranran. Routing Technology in Wireless Sensor Network Based on Ant Colony Optimization Algorithm // *Wireless Personal Communications*. Springer, 2017. V. 95, Issue 3. P. 1911–1925.
29. Zhaojun Zhang, Funian Hu, Na Zhang. Ant colony algorithm for satellite control resource scheduling problem // *Applied Intelligence*. Springer, 2018. V. 48, Issue 2. P. 1–11.
30. Boubertakh H. Knowledge-based ant colony optimization method to design fuzzy proportional integral derivative controllers // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. Springer, 2017. V. 56, Issue 4. P. 681–700.

31. Chih-Ta Yen, Ming-Feng Cheng. A study of fuzzy control with ant colony algorithm used in mobile robot for shortest path planning and obstacle avoidance // *Microsystem Technologies*. Springer, 2018. V. 24, Issue 1. P. 125–135.
32. Salman A. Khan, Amjad Mahmood. Fuzzy goal programming-based ant colony optimization algorithm for multi-objective topology design of distributed local area networks // *Neural Computing and Applications*. Springer, 2017. Vol 28, Issue 8. P. 1–19.
33. Chiranjit Changdar, Rajat Kumar Pal, G. S. Mahapatra. A genetic ant colony optimization based algorithm for solid multiple travelling salesman problem in fuzzy rough environment // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 16. P. 4661–4675.
34. Seyed Mohsen Mousavi, Ardeshir Bahreininejad, S. Nurmaya Musa, Farazila Yusof. A modified particle swarm optimization for solving the integrated location and inventory control problems in a two-echelon supply chain network // *Journal of Intelligent Manufacturing*. Springer, 2017. V. 28, Issue 1. P. 191–206.
35. Sidahmed Benabderrahmane. Combining boosting machine learning and swarm intelligence for real time object detection and tracking: towards new meta-heuristics boosting classifiers // *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*. Springer, 2017. V. 1, Issue 4. P. 410–428.
36. Xuewu Wang, Yingpan Shi, Yixin Yan, Xingsheng Gu. Intelligent welding robot optimization based on discrete elite PSO // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 20. P. 5869–5881.
37. Sankalop Arora, Satvir Singh. Butterfly optimization algorithm: a novel approach for global optimization // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 22, Issue 6. P. 1–20.
38. Redouane Boudjema, Diego Oliva. A multi-objective approach to weather radar network architecture // *Soft Computing*, 2018. V. 22, Issue 3. P. 1–18.
39. Ibrahim Kucukkoc. Integrating ant colony and genetic algorithms in the balancing and scheduling of complex assembly lines // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Springer, 2016. V. 82. P. 265–285.
40. Santosh Kumar Verma, Shekhar Yadav, Shyam Krishna Nagar. Optimization of Fractional Order PID Controller Using Grey Wolf Optimizer // *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. Springer, 2017. V. 28, Issue 3. P. 314–322.
41. Yu-guang Zhong, Bo Ai. A modified ant colony optimization algorithm for multi-objective assembly line balancing // *Soft Computing*. Springer, 2017. V. 21, Issue 22. P. 6881–6894.



Самигулина Галина Ахметовна – доктор техн. наук, зав. лабораторией Института информационных и вычислительных технологий МОН РК; e-mail: galinasamigulina@mail.ru

2017 г. – зав. лаб. «Интеллектуальные системы управления и прогнозирования» Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК;

1991–2013 гг. – младш. науч. сотрудник, старш. науч. сотрудник, зав. лаб. «Интеллектуальные системы управления и сети» Института проблем информатики и управления МОН РК;

1988–1990 гг. – НПО «Системотехника», инженер. Образование:

2012 г. – академик МАИН;

2009 г. – докторская диссертация по теме: «Разработка интеллектуальных экспертных систем управления на основе подхода искусственных иммунных систем»;

2002 г. – доцент;

1996 г. – кандидатская диссертация;

1993–1996 гг. – аспирантура ИПИУ;

1982 - 1987 гг. – КазПТИ. Факультет: «Автоматика и телемеханика».

Награждена стипендией «Ученым, внесшим выдающийся вклад в развитие науки и техники» (2010 г.); нагрудным знаком «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан» (2017 г.).

Сфера деятельности и навыки: интеллектуальные системы управления и прогнозирования, инновационные информационные технологии, искусственные иммунные системы, систе-

мы дистанционного обучения; молекулярный дизайн лекарственных препаратов; интеллектуальные системы промышленной автоматизации.

Публикации: Опубликовано более 250 научных работ в РК и за рубежом, в том числе 15 в базах данных Thompson Reuters и Scopus; 6 монографий, 2 учебных пособия. Получено 3 авторских свидетельства о регистрации объекта интеллектуальной собственности и 7 свидетельств о гос. регистрации прав на объект авторского права. Индекс цитирования Thompson Reuters равен 2; Google Scholar 8; Research Gate 5,89.

Научный результат: Разработана иммунно-сетевая технология на основе биологического подхода ИИС, построенные на ее основе системы управления позволяют повысить достоверность прогноза в условиях неопределенности параметров, рассматриваемых сложных нелинейных систем путем уменьшения погрешностей обобщения ИИС; программно-аппаратная реализация иммунносетевой технологии для систем промышленной автоматизации.

2017 – Head of the lab "Intellectual systems of control and forecasting" of the Institute of Information and Computing Technologies of the SC MES of the Republic of Kazakhstan;

1991–2013 – Junior scientific employee, senior scientific employee, head of the lab "Intellectual Systems of Control and Network" of the Institute of Problems of Informatics and Control of the MES of the Republic of Kazakhstan;

1988–1990 – SPA "Systemotechnika engineer. Education:

2012 – Academician of the International Academy of Informatization;

2009 – Doctoral dissertation on the topic: "Development of intellectual expert control systems based on the artificial immune systems approach";

2002 – Associate Professor;

1996 – candidate's dissertation;

1993–1996 – postgraduate;

1982–1987 – Kaz. PTI. Faculty: "Automation and telemechanics". Awarded with a scholarship "Scientists who made an outstanding contribution to the development of science and technology"(2010); from MES RK with a badge

"For Merits in the Development of Science of the Republic of Kazakhstan"(2017).

Sphere of activity and skills: Intelligent control and forecasting systems, innovative information technologies, artificial immune systems, distance learning systems; molecular design of medicines; intelligent industrial automation systems.

Publications: More than 250 scientific works were published in Kazakhstan and abroad, including 15 in Thomson Reuters and Scopus databases; 6 monographs, 2 schoolbooks. Received 3 copyright certificates on the registration of the object of intellectual property (computer programs) and 7 certificates of state registration of rights on the object of copyright. The index of citing by Thomson Reuters is 2, Google Scholar is 8. Rating in Research Gate is 5,89.

Scientific results: There was developed immune network technology based on the biological approach of AIS and the constructed on its basis forecasting and control systems allow to increase the reliability of the forecast under conditions of parameters uncertainty of the considered complex nonlinear systems by reducing the errors of generalization of AIS; software and hardware implementation of the immune network technology for industrial automation.



Самигулин Тимур Ильдусович – магистрант КазТУ им. К.И. Сатпаева; e-mail: timur.samigulin@yandex.kz

Самигулин Тимур Ильдусович — докторант PhD университета КазНИТУ им. Сатпаева.

В настоящее время опубликовано 18 научных работ в казахстанских и зарубежных изданиях, имеется 2 авторских свидетельства на программы для ЭВМ Министерства Юстиции Республики Казахстан в области интеллектуальных систем управления. Научные труды посвящены проблемам управления многомерными и многосвязными технологическими объектами с применением подходов искусственного интеллекта.

Samigulin Timur Ildusovich — student PhD of Satpaev University. 18 scientific publications have been published in Kazakhstan and foreign countries at present, there are 2 copyright

certificates for computer programs of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan in the field of intelligent control systems. Scientific works are devoted to the problems of controlling multidimensional and multiply connected technological objects with application of artificial intelligence approaches.

Дата поступления — 06.04.2018