

УДК 004.89:004.4

DOI: 10.20998/2411-0558.2020.01.08

*Г. А. САМИГУЛИНА*, д-р техн. наук, зав. лаб. "Интеллектуальные системы управления и прогнозирования", Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,

*З. И. САМИГУЛИНА*, Ph.D, сеньор лектор, Факультет информационных технологий, Казахстанско-Британский Технический Университет, Алматы, Казахстан

### **РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ**

Исследования посвящены актуальной проблеме создания фундаментальных теоретических основ искусственных иммунных систем с целью разработки высокоэффективной инновационной технологии для синтеза интеллектуальных систем управления сложными объектами, которые функционируют в условиях неопределённости параметров и дальнейшего применения в системах промышленной автоматизации с использованием современной микропроцессорной техники. Дано определение унифицированной искусственной иммунной системы и показана актуальность развития данного направления. Библиогр.: 15 назв.

**Ключевые слова:** интеллектуальная технология; технология управления сложным объектом; унифицированная искусственная иммунная система.

**Постановка проблемы.** На современных промышленных предприятиях широко используются сложные распределённые системы управления (такие как Exregion PKS фирмы Honeywell и др.), осуществляющие мониторинг и управление технологическими процессами, сбор, анализ и архивирование производственных данных. Необходима обработка огромного потока информации в режиме реального времени для своевременной корректировки технологического процесса, исключения аварийных ситуаций на производстве, прогнозирования износа промышленного оборудования, оптимальной организации производственного процесса и перераспределения нагрузки между узлами. Так как при функционировании сложных производственных процессов возникает переизбыток данных, большая часть которых не может быть обработана в реальном времени, то актуально применение последних достижений искусственного интеллекта (ИИ) для создания высокоэффективных технологий прогнозирования и управления сложными объектами [1, 2]. Большое распространение в последнее время получили биоинспирированные

подходы ИИ. Наиболее развитыми направлениями моделирования биологических прототипов являются нейронные сети, генетические алгоритмы, алгоритмы роевого интеллекта, искусственные иммунные системы (ИИС) и др. Актуальными являются исследования с использованием подхода искусственных иммунных систем, основанном на иммунологических принципах реакции организма на вторжение чужеродных антигенов. Обработка информации молекулами белка в биологическом прототипе поражает своим единством и экономичностью.

**Анализ литературы.** По данным ведущего мирового издательства Springer только за последние несколько лет было опубликовано большое количество работ по данной тематике с приложениями для различных сложных объектов. Интенсивно развиваются ИИС в США, Великобритании, Японии, Китае, Италии, России и других странах. Существенному прогрессу данной области исследования способствовали научные результаты учёных: D. Dasgupta [3], G. Nicosia [4], M. Pavone (Италия) [5], S. Forrest, (США) [6]; J. Timmis и P. Castro [7] (Великобритания) и др.

В настоящее время широко используются модифицированные алгоритмы ИИС. Например, статья [8] посвящена диагностике неисправностей в беспроводных сенсорных сетях на основе алгоритма клонального отбора ИИС и вероятностного подхода нейронной сети. Результаты моделирования показали перспективность использования данного метода. В работе [5] предлагается гибридный иммунный алгоритм (Hybrid-IA) для решения сложных задач комбинаторной оптимизации. Алгоритм разработан на принципах клонального отбора и процедуре локального поиска с применением детерминированного подхода для уточнения найденных решений. Результаты проведённого моделирования и сравнение с различными алгоритмами подтверждают эффективность и надёжность гибридного алгоритма с точки зрения наилучших найденных решений. В статье [9] описаны различные гибридные алгоритмы ИИ, сочетающие интеллектуальные и традиционные методы. Приводится сравнение эффективности методов оптимизации таких как: алгоритм роя частиц (PSO), эволюционного алгоритма (EA) и ИИС для выбранных тестовых функций.

Анализ публикаций подтверждает актуальность исследований по созданию теоретических основ и интеллектуальной технологии управления сложными объектами с использованием биоинспирированного подхода ИИС.

**Целью статьи** является разработка теоретических основ для создания распределённых систем управления сложными нелинейными

объектами с использованием современных средств вычислительной техники и унифицированной искусственной иммунной системы (УИИС). Под УИИС понимается система, построенная с помощью систематизации и классификации модифицированных алгоритмов ИИС с учётом слабых и сильных сторон для выбора наиболее эффективных механизмов иммунного ответа с целью анализа и прогноза многомерных (различных по структуре, типу, размеру и т.д.) данных.

**Методы исследования.** Успехи в понимании сложных механизмов биологической иммунной системы человека обеспечивают эффективные и надёжные возможности обработки многомерной информации для решения сложных проблем. Искусственные иммунные системы могут изучать, запоминать, адаптировать ранее полученную информацию, обучаться и выполнять распознавание и классификацию образов [10]. Область ИИС включает два направления исследований: использование математических и вычислительных методов в моделировании иммунологии и внедрение принципов функционирования иммунной системы применительно к разработке технических приложений [11]. В настоящее время в ИИС используются отдельные разрозненные механизмы иммунной системы (молекулярное узнавание, клональная и негативная селекция) для построения различных алгоритмов и приложений на их основе. Однако иммунная система функционирует как целостная система для защиты человеческого организма. Поэтому первые попытки создать единую унифицированную ИИС, то есть интегрировать независимые алгоритмы ИИС для построения целостной ИИС с целью поднять данный подход на более высокий уровень начались достаточно давно. Разрабатывались отдельные приложения для решения узких задач [12]. Тем не менее до сих пор данная сложная задача не решена полностью. К сожалению, одной из очевидных причин является то, что принципы функционирования многочисленных современных алгоритмов ИИС существенно отличаются от их биологических прототипов. Доказано, что при обработке информации в организме человека огромная роль отведена белкам. Осознание и применение основных биологических принципов, разработка теоретических основ ИИС является необходимым условием дальнейшего успешного развития данного направления и имеет большие перспективы. Еще одним из факторов, затрудняющим решение проблемы является междисциплинарный характер исследований, затрагивающий очень многие области науки и отсутствие специалистов в достаточной мере владеющих необходимыми знаниями.

**Разработка унифицированной искусственной иммунной системы.** Принципиальным отличием исследований от существующих аналогов является разработка теоретических основ УИИС на основе создания новых высокоэффективных модифицированных алгоритмов ИИС с использованием принципов биологического прототипа иммунной системы по обработке информации гомологичными белками, многокомпонентной оценке эффективности применения для различных данных и их интеграция с реально действующими сложными объектами промышленной автоматизации в нефтегазовой отрасли с учётом оценки возможностей современной микропроцессорной техники ведущих фирм производителей: Schneider Electric, Siemens и Honeywell.

Систематизация и классификация моделей и алгоритмов ИИС, а также их модификаций при разработке унифицированной ИИС необходима для создания единых теоретических основ и чёткого понимания сильных и слабых сторон ИИС, условий применения, основополагающих факторов, влияющих на их эффективность, характера и размера анализируемых данных, условий эксплуатации и т.д. Создание многокомпонентной методики оценки эффективности алгоритмов ИИС существенно облегчит разработку единой теоретической базы ИИС и будет способствовать их внедрению в реальное производство с учетом особенностей и возможностей современной микропроцессорной техники ведущих фирм производителей. Разработка модели и методики оценки рисков интеллектуальной технологии на основе ИИС для управления сложными объектами способствует выбору иммунного ответа для конкретной ситуации.

**Выводы.** Таким образом, научная новизна предлагаемого исследования заключается в создании унифицированной искусственной иммунной системы на основе систематизации, классификации и многокомпонентной оценки эффективности модифицированных алгоритмов ИИС (включая разработанные отечественные [13-15] алгоритмы), а также разработке методологии и модели оценки рисков информационной технологии для интеллектуальной системы управления сложными объектами нефтегазовой отрасли с целью автоматизированного выбора технологической цепочки (иммунного ответа) для эффективной обработки различных по структуре, типу, размеру и т.д. многомерных данных и прогнозирования.

**References:**

1. Sotiropoulos, D., Tsihrintzis, G. (2017). *Artificial Immune Systems*. Machine Learning Paradigms. Intelligent systems reference library. Springer, pp. 159-235.

2. Padmanabhan, S., Chandrasekaran, M., Ganesan, S., Khan, M., Navakanth, P. (2017). *Optimal Solution for an Engineering Applications Using Modified Artificial Immune System*. In Materials of Science and Engineering, Vol. 173, pp. 1-5.
3. Dasgupta, D. (2014). *Artificial immune systems and their applications*. Springer, Vol. 1, 306 p.
4. Tarakanov, A.O., Nicosia, G. (2007). *Foundations of immunocomputing*. In Proc. of the 1st IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligens (FOCI), pp. 503-508.
5. Cutello, V., Oliva, M., Pavone, M., Scollo, R.A. (2020). *A Hybrid Immunological Search for the Weighted Feedback Vertex Set Problem*. Chapter in book: Learning and Intelligent Optimization, pp. 1-16. DOI: 10.1007/978-3-030-38629-0\_1.
6. Forrest, S., Javornik, B., Smith, R., Perelson, A.S. (1993). *Using genetic algorithms to explore pattern recognition in the immune system*. Evolutionary Computation, Vol. 1 (3), pp. 191–211.
7. Timmis, J., Knight, T., de Castro, L. N., Hart, E. (2004). *An overview of artificial immune systems*. Computation in Cells and Tissues. Springer, pp. 51–91.
8. Mohapatra, S., Khilar, P.M., Swain, R.R. (2019). *Fault diagnosis in wireless sensor network using clonal selection principle and probabilistic neural network approach*. International Journal of Communication Systems, Vol. 32 (12), pp. 1–9. DOI:10.1002/dac.4138.
9. Burczynski, T., Kus, W., Beluch, W., et. al. (2020). *Intelligent Computing Techniques*. Chapter in book: Intelligent Computing in Optimal Design, pp. 17–76. DOI: 10.1007/978-3-030-34161-9\_3.
10. Schaust, S., Szczerbicka, H. (2008). *Artificial Immune Systems in the Context of Misbehavior Detection*. Cybernetics and Systems, Vol. 39 (2), pp. 136–154. DOI: 10.1080/01969720701853434.
11. Read, M., Andrews, P.S., Timmis, J. (2012). *An Introduction to Artificial Immune Systems / In: Rozenberg G., Bäck T., Kok J.N. (eds). Handbook of Natural Computing*. Springer, pp. 1575–1597. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-92910-9\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-540-92910-9_47).
12. Wang, Chen X., Zhang, Q., and Tang, C. (2013). *Unified Artificial Immune System*. In Proc. of the 5th Intern. Conf. on Computational Intelligence and Communication Networks, pp. 617–621. doi:10.1109/CICN.2013.135.
13. Samigulina, G.A., and Samigulina, Z.I. (2020). *Development of Smart-technologies for prediction and control of complex objects based on modified algorithms of artificial immune systems: Monograph*. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 224 p.
14. Samigulina, G.A., Massimkanova, Zh.A. (2020). *Development of Modified Cooperative Particle Swarm Optimization with Inertia Weight for feature selection*. Cogent Engineering, Vol. 7 (1), pp. 1-11. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1788876>.
15. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. (2019). *Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control*. Artificial Intelligence Review. Springer, Vol. 52 (4), pp. 2457–2473.

Статью представил д-р техн. наук, проф. Національного технічного університету "Харьковский политехнический институт" С.Ю. Леонов.

Поступила (received) 15.11.2020

Samigulina Galina, Dr. Sci. Tech,  
Institute of Information and Computing Technologies,  
Str. Pushkeen, 125, Almaty, Kazakhstan, 050010,  
Tel:+7(777)244-43-67, e-mail: galinasamigulina@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0003-1798-9161

Samigulina Zarina, Ph.D, senior lector  
Kazakh – British Technical University,  
Str. Tole be 59, Almaty, Kazakhstan, 050000,  
Tel:+7(702)218-97-73, e-mail: zarinasamigulina@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0002-5862-6415

УДК 004.89:043

**Розробка інтелектуальної технології управління складними об'єктами на основі уніфікованої штучної імунної системи / Самігуліна Г.А., Самігуліна З.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2020. – № 2 (4). – С. 118 – 124.**

Дослідження присвячені актуальній проблемі створення фундаментальних теоретичних основ штучних імунних систем з метою розробки високоефективної інноваційної технології для синтезу інтелектуальних систем управління складними об'єктами, які функціонують в умовах невизначеності параметрів і подальшого застосування в системах промислової автоматизації з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Дано визначення уніфікованої штучної імунної системи і показана актуальність розвитку даного напрямку. Бібліогр.: 15 назв.

**Ключові слова:** інтелектуальна технологія; технологія управління складним об'єктом; уніфікована штучна імунна система.

УДК 004.89:043

**Разработка интеллектуальной технологии управления сложными объектами на основе унифицированной искусственной иммунной системы / Самигулина Г.А., Самигулина З.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2020. – № 2 (4). – С. 118 – 124.**

Исследования посвящены актуальной проблеме создания фундаментальных теоретических основ искусственных иммунных систем с целью разработки высокоэффективной инновационной технологии для синтеза интеллектуальных систем управления сложными объектами, которые функционируют в условиях неопределённости параметров и дальнейшего применения в системах промышленной автоматизации с использованием современной микропроцессорной техники. Дано определение унифицированной искусственной иммунной системы и показана актуальность развития данного направления. Библиогр.: 15 назв.

**Ключевые слова:** интеллектуальная технология; технология управления сложным объектом; унифицированная искусственная иммунная система.

УДК 004.89:043

**Development of intelligent technology for control complex objects based on a unified artificial immune system / Samigulina G.A., Samigulina Z.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2020. – № 2 (4). – P. 118 – 124.**

The research is devoted to the urgent problem of creating the fundamental theoretical foundations of artificial immune systems in order to develop a highly effective innovative technology for the synthesis of intelligent control systems for complex objects that function under conditions of uncertainty in parameters and further use in industrial automation systems and modern microprocessor technology. The definition of a unified artificial immune system is given and the relevance of the development of this direction is shown. Refs.: 15 titles.

**Keywords:** intelligent technology; control system of complex object; unified artificial immune system.