

Г.А. Самигулина, д.т.н., проф. galinasamigulina@mail.ru

З.И. Самигулина, PhD, доцент zarinasamigulina@mail.ru

Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК
Казахстанско-Британский технический университет

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОЭНДОКРИННО- ИММУНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Предлагаемая работа посвящена вопросам современного состояния и тенденциям развития промышленного искусственного интеллекта (ИИ) в нефтегазовой отрасли с использованием биоинспирированного подхода искусственных иммунных систем (ИИС) с привлечением нейроэндокринной составляющей для управления динамическими сложными объектами и диагностики оборудования. Обоснована необходимость применения подходов, методов ИИ и машинного обучения для анализа больших данных и прогнозирования поведения сложной динамической системы. Приведены особенности внедрения ИИС на современном промышленном предприятии нефтегазового сектора и трудности, возникающие при реализации этих систем. Рассмотрены основные подходы ИИС и принципы создания унифицированной искусственной иммунной системы (УИИС), а также перспективность применения нейроэндокринной системы (НЭС) для повышения эффективности работы УИИС с целью обеспечения бесперебойного функционирования сложных технологических комплексов на нефтеперерабатывающих предприятиях. Приведены основные этапы, необходимые для реализации и внедрения интеллектуальной технологии УИИС-НЭС в реальную производственную среду на примере нефтеперерабатывающих предприятий «Тенгиз Шевройл» и «Карачаганак Петролеум Оперейтинг».

Ключевые слова: промышленный искусственный интеллект, нефтегазовая отрасль, управление сложным объектом, диагностика оборудования, обработка больших данных, унифицированная искусственная иммунная система, нейроэндокринно-иммунологическое взаимодействие, гомеостаз

1. Введение

Последние тенденции и разработки в области промышленного искусственного интеллекта (ИИ) показывают рост инновационных информационных технологий на основе биоинспирированных подходов и принципов машинного обучения [1]. Много предложений для внедрения ИИ в нефтегазовой отрасли в области разведки, проектирования месторождений, а также добычи нефти и газа в связи с необходимостью в обработке огромных массивов разнородных данных и наличием ряда неопределенностей этих процессов [2,3]. Так, например, в работе [4] использование алгоритмов ИИ для прогнозирования производительности месторождений позволяет оптимизировать процесс и повысить эффективность добычи нефти и газа. В настоящее время актуальными являются исследования по развитию ИИ для управления сложными объектами и автоматизации на нефтеперерабатывающих предприятиях. Характер протекающих сложных технологических процессов на таких предприятиях, а также трудности, связанные с эксплуатацией современного наукоёмкого промышленного оборудования и их ограничениями, потребность в анализе больших данных и прогнозировании, необходимость оперативного принятия управленческих решений в связи с огромными финансовыми потерями при поломке оборудования и остановке процесса, внедрение цифровизации на производстве и обеспечение на высоком уровне промышленной безопасности определяют перспективность широкомасштабного внедрения ИИ на производстве, которое позволит существенно повысить эффективность процесса и снизить затраты при получении нефти и газа [5].

Одними из наиболее распространенных подходов ИИ [6] являются искусственные нейронные сети, эволюционные алгоритмы, алгоритмы роевого интеллекта, искусственные иммунные системы и другие, которые с успехом применяются в различных приложениях для нефтегазовой отрасли.

Данные исследования посвящены инновационным интеллектуальным технологиям промышленного ИИ на основе биоинспирированного подхода искусственных иммунных систем (ИИС), который имеет ряд преимуществ при решении определённого круга задач по обработке больших динамических данных и построению моделей прогнозирования при управлении сложными объектами и диагностике оборудования в нефтегазовом секторе.

К сожалению, на сегодняшний день не созданы универсальные подходы и алгоритмы ИИС [7], позволяющие облегчить решение ряда проблем промышленной автоматизации в нефтегазовом секторе. Актуальными остаются вопросы, связанные с интеграцией алгоритмов ИИС в сложный динамический производственный процесс по переработке нефти и газа.

2. Подход искусственных иммунных систем и разработка унифицированной искусственной иммунной системы

Прототипом искусственных иммунных систем (Artificial Immune System) выступают механизмы функционирования биологической иммунной системы человека. При разработке приложений на основе ИИС [8] рассматриваются и применяются различные прототипы работы иммунитета, например клональной селекции, отрицательного отбора, иммунной сети и др. Так, в исследованиях [9] описываются преимущества ИИС при решении задач оптимизации, классификации, анализе больших неструктурированных данных, информационной безопасности, распознавании образов в реальном времени и др. Проведён сравнительный анализ ИИС со свёрточными нейронными сетями для решения задач классификации и распознавания, а также определены основные недостатки, связанные с большим временем обучения и необходимостью полного переобучения нейронной сети при добавлении нового класса и отсутствии этих проблем у ИИС.

Способность обучения ИИС в режиме реального времени обеспечивает дополнительные возможности внедрения систем ИИ на их основе в реальную динамическую среду на нефтеперерабатывающих предприятиях, оснащённых сложным наукоемким оборудованием. Появилось много модифицированных улучшенных алгоритмов, созданных на их основе, которые решают специфические задачи. Например, в работе [10] рассматривается создание ИИС с использованием клеточных автоматов для решения динамических оптимизационных задач при работе в условиях изменяющейся среды. Проведённые эксперименты с применением Moving Peaks Benchmark показывают преимущество данного подхода перед другими алгоритмами ИИС. В статье [11] предлагается совместное использование алгоритмов ИИС, таких как негативный отбор и клональная селекция для решения задачи распознавания образов с возможностью непрерывного обучения. С помощью алгоритма негативного отбора осуществляется распознавание, а с помощью алгоритма клональной селекции осуществляется обучение системы. Результаты многочисленных экспериментов показали эффективность данного подхода. Исследования [12] посвящены разработке улучшенного адаптивного алгоритма клональной селекции с применением разных стратегий дифференциальной эволюции. Моделирование показало превосходство предложенного метода по сравнению с современными алгоритмами ИИС и алгоритмами дифференциальной эволюции.

Актуальны и востребованы разработки на основе ИИС для диагностики оборудования. Например, в работе [13] рассматривается гибридный подход на основе иммунной системы и оптимизационного генетического алгоритма для выявления неисправностей оборудования, в котором используется многоуровневая ИИС, состоящая из неспецифической подсистемы и специализированной подсистемы диагностики. Данный подход протестирован на оборудовании с проблемами в роторе и поломанном подшипнике. Результаты экспериментов показали хороший результат и перспективы для внедрения на производстве.

Предлагаемая работа является следующим шагом и продолжает исследования [14-15], в которых разработана унифицированная искусственная иммунная система (УИИС) на основе модифицированных алгоритмов ИИС для решения задачи управления сложными объектами и диагностики оборудования [16] на предприятиях по переработке нефти и газа. Целью создания УИИС является отбор наиболее перспективных улучшенных алгоритмов,

имитирующих основополагающие механизмы биологической иммунной системы и возможность оперативного их использования в определённых условиях для анализа больших данных при прогнозировании поведения динамической системы, диагностики неисправностей оборудования, а также поддержки гомеостаза в системе [17]. Алгоритмы УИИС, имеющие лучшие прогностические способности, выбираются для обеспечения гомеостатического равновесия в системе и реализации определённых сценариев управления, то есть адекватных иммунных реакций.

3. Постановка задачи исследования

Формулируется следующая постановка задачи: необходимо рассмотреть возможности и перспективы создания интеллектуальной технологии самосборки унифицированной искусственной иммунной системы с применением нейроэндокринной регуляции гомеостазом для управления сложными объектами и диагностики оборудования с целью роста эффективности производства и оптимизации ресурсов.

Трудности при решении поставленной задачи связаны прежде всего с необходимостью проведения междисциплинарных исследований, в ходе которых используются сведения как из фундаментальной теоретической иммунологии, биологии и хемотрики, а также классической теории автоматического управления, промышленного искусственного интеллекта и новейших информационных технологий по обработке больших данных, так и решаются вопросы особенностей и возможностей микропроцессорной техники и оборудования, которые используются на современном реальном промышленном производстве в нефтегазовой отрасли на примере предприятий «Тенгиз Шевройл» и «Карачаганак Петролиум Оперейтинг».

4. Гомеостаз и нейроэндокринно-иммунологический подход

Удивительные механизмы функционирования человеческого организма поражают своими адаптационными возможностями для обеспечения жизнедеятельности и поддержания гомеостаза [18], что вызывает огромный интерес современных учёных, занимающихся проблемами искусственного интеллекта с целью имитации этих процессов при решении инженерных задач и управлении сложным производственным процессом. С помощью сложных процессов гомеостаза осуществляется регулирование разных механизмов для поддержки баланса в биосистеме и обеспечения ее жизнеспособности [19]. Разработано достаточное количество технических приложений с использованием принципов гомеостаза. Например, в статье [20] предлагается имитировать биохимические механизмы и адаптивные принципы гомеостаза биологической системы для управления роботом. С помощью разработанного когнитивного контроллера обеспечивается искусственный гомеостаз при наличии противоречивых потребностей. Робот может использовать предыдущий опыт и применять его в будущем. Результаты экспериментов показали, что под управлением контроллера робот способен поддерживать уровень заряда и выполняет другие действия, не допуская противоречий, например, он сохраняет прохладу, если зарядная станция находится в жарком месте. В исследованиях [21] разработана на основе ИИС технология оценки состояния и защиты, а также поддержки иммунного гомеостаза электроэнергетического оборудования в режиме реального времени. Достоинством предлагаемого подхода является возможность оперативного обнаружения неисправностей и самостоятельного восстановления оборудования.

Необходимо отметить сложные механизмы поддержания гомеостаза в биосистеме [22], в котором задействованы и тесно взаимосвязаны основные жизнеобеспечивающие процессы иммунной, эндокринной и нервной систем [23, 24]. В последнее время появилось много публикаций по применению принципов эндокринных систем в инженерии. Например, исследования [25] посвящены разработке биоинспирированных моделей на основе гормонального подхода применительно к различным областям искусственного интеллекта. Рассматриваются достоинства гормональной системы как эффективной многозадачной системы обработки информации, способной параллельно решать большое количество задач.

Приводятся приложения с использованием гормональных вычислений в нейроинженерии, и показана перспективность использования данного подхода. В статье [26] представлен алгоритм искусственных гормонов для планирования производства по принципу «снизу вверх». Решается NP-сложная задача по оптимизации системы планирования цеха. Результаты экспериментов показывают повышение эффективности на пять процентов после применения оптимизационной стратегии на основе искусственных гормонов. В работе [27] рассматриваются фундаментальные биохимические основы для обработки информации с использованием гормональных вычислений, а также возможности и перспективы создания на их основе инновационных разработок.

Также опубликовано много работ на основе применения нейронных сетей в промышленности. В исследованиях [28] проделана большая работа по обзору и рассмотрению последних тенденций использования искусственных нейронных сетей (ИНС) в нефтегазовом секторе. Разработана методология, состоящая из нескольких этапов по практическому применению ИНС в нефтегазовой отрасли для различных приложений, а также рассмотрены возможности использования больших наборов данных для прогнозирования и принятия решений на их основе. Работа [29] посвящена мониторингу и прогнозу в режиме реального времени неисправностей механических систем на основе данных о вибрации с применением свёрточных нейронных сетей. Достоинством данной методологии является низкая требовательность к недостатку данных о поломках и эффективное превентивное обслуживание оборудования. В статье [30] предлагается прогнозировать качество продукции с использованием глубокой нейронной сети на основе полуконтролируемого обучения. Многочисленные эксперименты на реальных данных показали перспективность модели.

Таким образом, проведённый литературный обзор последних публикаций по данной теме показывает актуальность и перспективность рассматриваемой области исследований в условиях современного развития промышленного ИИ на основе биоинспирированных подходов.

5. Технология нейроэндокринного взаимодействия с УИИС для управления сложными объектами и диагностики оборудования

При разработке интеллектуальной технологии УИИС с нейроэндокринным регулированием (УИИС-НЭС) необходима реализация следующих этапов:

1) С помощью опытных специалистов производителей определяется круг задач, которые нужно решить с использованием алгоритмов ИИ и рассмотреть возможность реализации их на основе технологии УИИС-НЭС в условиях ограничений, накладываемых производственной средой.

2) С учётом характера динамических данных на основе показаний с датчиков выбранного объекта управления создание оптимальной базы данных, состоящей из информативных признаков.

3) Формирование УИИС в зависимости от эффективности алгоритмов ИИС на основе определения области гомеостаза [14,15].

4) Формирование нейроэндокринной системы регуляции и способов взаимодействия с УИИС.

5) Анализ больших производственных данных с использованием подхода УИИС-НЭС и прогнозирование на основе распознавания образов.

6) Проведение тестовых исследований с использованием симулятора реального оборудования и выбор иммунного ответа.

7) Оценка эффективности технологии УИИС-НЭС, рисков внедрения [31,32] и проведение сравнительного анализа полученных результатов с другими подходами.

8) Внедрение технологии УИИС-НЭС в реальное производство.

На рисунке 1 представлена структурная схема нейроэндокринного взаимодействия между нейроэндокринной системой (НЭС), состоящей из двух подсистем: нейронной подсистемы (НП) и эндокринной подсистемы (ЭП) с унифицированной иммунной системой

(УИИС), состоящей из модифицированных алгоритмов ИИС: МА иммунной сети, МА клонального отбора, МА негативной селекции.

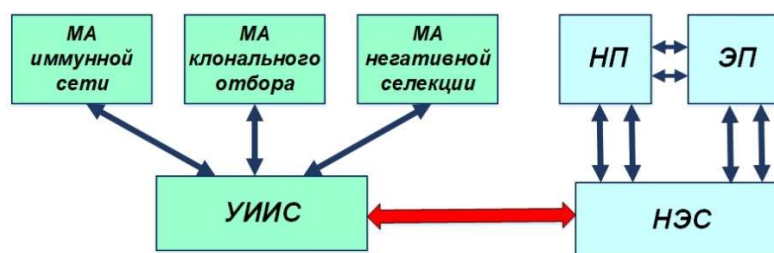


Рисунок 1 – Структурная схема нейроэндокринного взаимодействия сУИИС

Трудности внедрения разработанной технологии в реальное производство могут быть решены с помощью предварительной апробации на симуляторах, например EcoStructureControlExpert,FactoryI/O и других, что позволит минимизировать риски.

6. Заключение

Реалии современного производства требуют разработки и внедрения новых инновационных подходов с использованием искусственного интеллекта и цифроватизации процессов управления сложными технологическими линиями. Предлагаемый подход, основанный на использовании более глубоких механизмов нейроиммунноэндокринных взаимодействий, позволит перейти на новый уровень развития искусственных иммунных систем. Технология самосборки унифицированной искусственной иммунной системы с нейроэндокринной составляющей для управления сложными объектами и диагностики оборудования в нефтегазовой отрасли позволит подбирать в режиме, близком к реальному времени, лучшие алгоритмы прогнозирования в зависимости от текущей ситуации, размера и характера динамических производственных данных, а также различных внешних возмущений, что позволит оперативно осуществлять адекватный иммунный ответ для поддержания гомеостаза и работоспособности системы. Достоинством предлагаемого подхода является возможность расширения УИИС-НЭС новыми алгоритмами, апробация на симуляторах вне реального промышленного объекта нефтегазового сектора и использование в других областях науки и техники.

Благодарности

Исследования проводятся по гранту №АР23486386 КН МНВО РК «Разработка интеллектуальной технологии самосборки унифицированной искусственной иммунной системы для управления сложными объектами промышленной автоматизации с использованием нейроэндокринной системы».

Литература

1. Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry//Petroleum Research. – 2021. – Vol. 6, № 4. – P. 379–391.
2. Koroteev D.,TekicZ. Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future // Energy and AI. – 2021. – Vol. 3, № 100041. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041> (дата обращения 15.02.2024).
3. Pandey R.K., Anil Kumar Dahiya A.K., Agarwal R.and all. Machine learning and data mining assisted petroleum reservoir engineering: a comprehensive review // International Journal of Oil, Gas and Coal Technology. – 2022. – Vol. 30, №4. – P. 359–387. DOI:10.1504/IJOGCT.2021.10043807 (дата обращения 19. 2024).
4. PandeyR.K., Dahiya A.K.,Mandal A. Identifying applications of machine learning and data analytics BasedApproaches for optimization of upstream petroleum operations // Energy Technol. – 2021. –Vol.9. – P. 1–20.

5. Waqar A., Othman I., Shafiq N., Mansoor M.S. Applications of AI in oil and gas projects towards sustainable development: a systematic literature review // *Artificial Intelligence Review*. – 2023. – №11. – P.12771-12798. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10467-7> (дата обращения 03.02.2024).
6. Alkinani H, Al-Hameedi A.T.T., Dunn-Norman S., Flori R. Applications of Artificial Neural Networks in the Petroleum Industry: A Review // *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conf.* – 2019. <http://DOI:10.2118/195072-MS> (дата обращения 16. 03.2024).
7. Hasib N., Syed Wajahat Abbas Rizvi, Katiyar V. Artificial immune system: a systematic literature review // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. - 2023. - Vol.101, №4. – P. 1469-1486.
8. Pinto R., Gonçalves G. Application of Artificial Immune Systems in Advanced Manufacturing // *Array*. – 2022. – Vol. 15, № 100238. <https://doi.org/10.1016/j.array.2022.100238> (дата обращения 21.03.2024).
9. Mikherskii R.M., Mikherskii M.R. Analysis of the Use of Artificial Immune Systems // *Proc. of the IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. - Vol. 1069012025. - P. 1-6. [http:// DOI10.1088/1757-899X/1069/1/012025](http://DOI:10.1088/1757-899X/1069/1/012025) (дата обращения 25.02.2024).
10. Rezvanian A., Vahidipour S.M., Saghiri A.M. CaAIS: Cellular Automata-Based Artificial Immune System for Dynamic Environments // *Algorithms*. – 2023. - Vol.17, №1. - P.18. <https://doi.org/10.3390/a17010018> (дата обращения 09.02.2024).
11. Souza S. F., Lima F. P. dos A., Chavarette F. R. A New Artificial Immune System Based on Continuous Learning for Pattern Recognition // *Revista De Informática Teórica E Aplicada*. - 2020. – Vol. 27, № 4. – P. 34–44. <https://doi.org/10.22456/2175-2745.102061> (дата обращения 12.03.2024).
12. Wang Y., Li T., Liu X., Yao J. An adaptive clonal selection algorithm with multiple differential evolution strategies // *Information Sciences*. – 2022. - Vol. 604. – P.142–169.
13. Abid A., Khan M.T., Iqbal J., de Silva C.W. Immunity Inspired Hybrid Fault Diagnosis and Conflict Resolution // *IEEE/ASME Trans. Mechatron.* – 2022. - Vol.27. - P. 440–451.
14. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Development of a unified artificial immune system for complex objects control within the framework of the Industry4.0 concept // *J. Procedia Computer Science. Conf. on ENTERprise Information Systems*. - Lisboa, Portugal: Elsevier, 2023. – Vol.219C. – P. 824–831. <https://DOI:10.1016/j.procs.2023.01.356> (дата обращения 17.03.2024).
15. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Development of intelligent technology for complex objects control based on a unified artificial immune system and principles of immunological homeostasis for industrial automation using modern microprocessor equipment: monograph. – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2023. – 196 p.
16. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Diagnostics of industrial equipment and faults prediction based on modified algorithms of artificial immune systems // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – Springer, 2022. – P.1–18. <https://doi:10.1007/s10845-020-01732-5> (дата обращения 02.02.2024).
17. Samigulina G.A., Samigulina Z.I., Porubov D.A. Creation of intelligent technology based on a unified artificial immune system and the principles of homeostasis for the control and automation of complex oil and gas industry objects // *Proc. of Inter. conf. on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing*. – Sochi: IEEE, 2022. – P. 1019–1023.
18. Cannon W.B. Organization for the physiological homeostatic // *Physiol. Rev.* – 1929. - Vol.9. – P.399 – 431.
19. Еськов В.М., Гудков А.Б., Филатов М.А., Еськов В.В. Принципы гомеостатического регулирования функций организма в экологии человека // *Экология*

- человека. – 2019. – №10. – С. 41–49. <https://DOI:10.33396/1728-0869.2019-10-41-49> (дата обращения 11.03.2024).
20. Stovold J., O'Keefe S., Timmis J. Cognitively-inspired homeostatic architecture can balance conflicting needs in robots // arXiv.– 2018. – Vol.1811. – № 0033.
21. Liu D., Wang Z., Liang H., Zeng X. Artificial Immune Technology Architecture for Electric Power Equipment Embedded System // Proc. of the IEEE Intern. Conf. on Electrical Engineering and Mechatronics Technology. – 2021–№21438058. <https://DOI:10.1109/ICEEMT52412.2021.9601685> (дата обращения 7.03.2024).
22. Газнюк Л. М., Липич Т. И., Липич В. В., Носков В. А. Гомеостаз как инструмент исследования технологических влияний на здоровье человека // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2022. – № 30(5). – С. 753—760. <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2022-30-5-753-760> (дата обращения 01.02.2024).
23. Kolesnik E. A. Stress-reaction as a protective immune mechanism aimed at restoring the organism's homeostasis // Bulletin of Chelyabinsk state university. Education and healthcare. – 2020. – № 4 (12). – P. 5—14.
24. Самокруева М. А., Ясенявская А. Л., Цибизова А. А., Башкина О. А., Галимзянов Х. М., Тюренков И. Н. Нейроиммуноэндокринология: современные представления о молекулярных механизмах // Иммунология. – 2017. – № 38(1). – С. 49–59. <http://DOI: 10.18821/0206-4952-2017-38-1-49-59> (дата обращения 14.02.2024).
25. Vallverdú J., Talanov M., Leukhin A., Fatykhova E., Erokhin V. Hormonal computing: a conceptual approach // Front Chem. – 2023. – Vol. 11, № 1232949. <http://doi:10.3389/fchem.2023.1232949> (дата обращения 15.01. 2024).
26. Elmenreich W., Schnabl A., Schranz M. An artificial hormone-based algorithm for production scheduling from the bottom-up // Proc. of the 13th Inter. Conf. on Agents and Artificial Intelligence. – 2021. – P. 296–303. <http://DOI:10.5220/0010243902960303> (дата обращения 19.02.2024).
27. Vallverdu J. Letter to editor: Hormonal computers? // J. Unconv. Comput. – 2022. – Vol. 17. – P. 235–238.
28. Alkinani H., Tuama A. T., Al-Hameedi, Dunn-Norman S., Flori R. Applications of Artificial Neural Networks in the Petroleum Industry: A Review // SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference. – 2019. <http://DOI:10.2118/195072-MS> (дата обращения 17.02.2024).
29. Koutsoumpakis J., Giagopoulos D., Chatziparasidis I. AI-based condition monitoring on mechanical systems using multibody dynamics models // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2023. – Vol. 123C, № 106467. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106467> (дата обращения 08.02.2024).
30. Kim G., Choi J. G., Ku M., Lim S. Developing a semi-supervised learning and ordinal classification framework for quality level prediction in manufacturing // Computers & Industrial Engineering. – 2023. – Vol. 181, № 109286. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109286> Get rights and content (дата обращения 17.03.2024).
31. Samigulina G., Samigulina Z. Development of a risk assessment methodology for intelligent technology of diagnosing industrial equipment for complex oil and gas facilities // J. Procedia computer science. Proc. 27th Inter. Conf. on Knowledge Based and Intelligent Information & Engineering Systems. – Athens, Greece: Elsevier, 2023. – Vol. 225. – P. 1221–1230.
32. Samigulina G., Samigulina Z. Development of an approach for Multicomponent Evaluation of the efficiency of modified algorithms of artificial immune systems. // J. Procedia Computer Science. Proc. Soft computing and intelligent systems: theory and applications. - Elsevier, 2024. – Vol. 231. – P. 746–752.