

УДК 37.022

## КОГНИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИФИЦИРОВАННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ<sup>1</sup>

Самигулина Галина Ахметовна<sup>1</sup>,  
д-р техн. наук, профессор,  
e-mail: kz.galinasamigulina@gmail.com,

Самигулина Зарина Ильдусовна<sup>2</sup>,  
PhD, ассоциированный профессор,  
e-mail: samigulinaresearch@gmail.com,

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

Цифровизация общества, а также стремительный прогресс в области информационных технологий и искусственного интеллекта предъявляют новые повышенные требования к сфере образования. Мировые тенденции современного образовательного процесса указывают на огромную роль и важность дистанционного обучения, особенно по техническим специальностям. Исследования посвящены актуальным вопросам разработки когнитивной технологии персонализированного профессионального технического дистанционного обучения с использованием унифицированной искусственной иммунной системы. В предлагаемой технологии применяются не классические алгоритмы искусственного интеллекта, а модифицированные алгоритмы на основе клональной селекции, негативного отбора и иммунных сетей. Унификация направлена на снижение многообразия модифицированных алгоритмов с целью выделения наиболее эффективных для конкретного набора данных. Предлагаемая технология позволяет учитывать когнитивные и физиологические особенности обучающегося при разработке траектории обучения с целью получения качественного технического образования. Рассмотрены основные этапы функционирования дистанционной когнитивной технологии. Представлены результаты экспериментов, полученные на базе Казахстанско-Британского технического университета с участием студентов факультета информационных технологий.

**Ключевые слова:** когнитивная технология, дистанционное техническое обучение, унифицированная искусственная иммунная система, модифицированные алгоритмы

## COGNITIVE TECHNOLOGY OF DISTANCE PROFESSIONAL TECHNICAL EDUCATION USING A UNIFIED ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

Samigulina G.A.<sup>1</sup>,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: kz.galinasamigulina@gmail.com,

Samigulina Z.I.<sup>2</sup>,  
PhD, assoc. professor,  
e-mail: samigulinaresearch@gmail.com,

<sup>1</sup>Institute of Information and Computing Technologies, CS MES RK, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazakhstan-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

The digitalization of society, as well as the rapid progress in the field of information technology and artificial intelligence, make new and increased demands on the field of education. Global trends in the modern educa-

<sup>1</sup> Исследования проводятся при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09258508, 2021-2023).

*tional process point to the huge role and importance of distance learning, especially in technical specialties. The research is devoted to topical issues of the development of cognitive technology of personalized professional technical distance learning using a unified artificial immune system. The proposed technology uses not classical artificial intelligence algorithms, but modified algorithms based on clonal selection, negative selection and immune networks. Unification is aimed at reducing the diversity of modified algorithms in order to identify the most effective for a particular data set. The proposed technology makes it possible to take into account the cognitive and physiological characteristics of the student when developing a learning trajectory in order to obtain a high-quality technical education. The main stages of the functioning of remote cognitive technology are considered. The results of experiments obtained on the basis of the Kazakh-British Technical University with the participation of students of the Faculty of Information Technology are presented.*

**Keywords:** cognitive technology, distance technical training, unified artificial immune system, modified algorithms

DOI 10.21777/2500-2112-2022-1-23-30

## Введение

Прогресс в области информационных технологий, искусственного интеллекта микропроцессорной техники и новейшего промышленного оборудования требует решения актуальной проблемы подготовки профессиональных инженерных кадров. В настоящее время наблюдается острый дефицит квалифицированных специалистов по техническим специальностям. Возможности дистанционного онлайн-обучения с успехом решают существующие проблемы в данной сфере образования. Проблемы связаны, прежде всего, с необходимостью проведения практических занятий на реальном промышленном оборудовании, обучением студентов из отдаленных районов с различным уровнем начальной подготовки, получением высшего технического образования в лучших учебных заведениях с передовым оборудованием и т.д.

Разработка инновационных дистанционных технологий на основе искусственного интеллекта [1] является одним из основных направлений развития современного образования. С помощью них решаются следующие задачи: автоматизация образовательного процесса, персонализация обучения студентов с использованием когнитивных подходов, разработка электронных помощников, эффективное взаимодействие преподавателя со студентами в реальном времени, оптимизация работы преподавателей по заполнению журналов посещаемости студентов и мн. др. [2]. В современном образовательном процессе широко используются платформы Moodle, MS Teams, Edmodo, Google Classroom, iSpringOnline и другие для онлайн-обучения большой аудитории студентов, создания электронных курсов, дифференцированного обучения, а также мониторинга процесса обучения [3; 4]. Например, платформа Branly предназначена для обмена опытом между студентами, где искусственный интеллект применяется для отслеживания спама. В приложении MATHiaU, созданном компанией Carnegie Learning с элементами искусственного интеллекта, имеется возможность разработки индивидуальных уроков.

Активно внедряются методы машинного обучения в образование. Например, в исследованиях [5] с помощью метода искусственного интеллекта Machine Learning for Predicting Treatment effects (MLTE) определяются студенты, которые плохо усваивают учебный материал и могут не сдать экзамен. Исследователями рассматривается применение модифицированного алгоритма колонии муравьев для адаптивных систем обучения [6], а также осуществляется разработка образовательного онлайн-пространства с помощью искусственного интеллекта на основе модели персептрона [7].

Таким образом, разработка новых технологий дистанционного обучения для технических специальностей с использованием последних достижений в области искусственного интеллекта [8] является актуальной и необходимой составляющей развития высшей школы.

Данная работа является продолжением большого цикла научно-исследовательских работ в области дистанционного обучения техническим специальностям на основе перспективного биоинспирированного подхода искусственных иммунных систем (далее – ИИС).

### **Постановка задачи исследования**

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать когнитивную технологию дистанционного обучения для студентов технических специальностей с целью персонализированного подхода к обучению, комплексной оценки знаний, прогноза и оперативного управления качеством получаемого инженерного образования с использованием унифицированной искусственной иммунной системы (далее – УИИС) и платформы Microsoft Teams.

Достоинством платформы Microsoft Teams является возможность эффективной организации учебного процесса за счет следующих функций: загрузка учебных материалов, организация онлайн-лекций с большим количеством студентов, возможность записи лекций для последующего воспроизведения студентами, наличие удобных инструментов для проведения онлайн-экзаменов и др. Помимо удобных инструментов, позволяющих успешно автоматизировать учебный процесс со стороны не только студентов, но и администрации университета, платформа MS Teams обладает интуитивно понятным интерфейсом и подходит для пользователей, не обладающих большими знаниями в области информационных технологий.

Для выполнения поставленной задачи формируется команда MS Teams, в которую прикрепляются обучающиеся. В команде создается образовательная среда, состоящая из учебных материалов, заданий, тестов и видеозаписей лекций, а также формируется база знаний в виде фреймов [9], содержащих сценарии практических заданий в соответствии с когнитивными способностями студентов. База знаний практических задач выстраивается с учетом специфики технического направления специальности и требований к изучению дисциплины. Отдельно взятый сценарий содержит несколько взаимосвязанных между собой упражнений, которые в процессе выполнения собираются в большой курсовой проект и выносятся на защиту в качестве финального экзамена.

При организации дистанционного обучения студентов технических специальностей необходимо учитывать множество факторов технического характера, а также особенности восприятия информации студентами в удаленном формате. Персонализированное дистанционное обучение формируется с учетом когнитивных способностей студентов: психотипа обучающегося, физиологических особенностей, левополушарного или правополушарного типа мышления и т.д. Важную роль в восприятии информации играет текущее психоэмоциональное состояние студента, которое складывается из его социальной жизни, семейного положения, материально-технического обеспечения, трудностей обучения на иностранном языке и др. Кроме того, при выборе траектории обучения и уровня сложности выполнения практических занятий необходимо учитывать уровень начальных знаний студента.

### **Унифицированная искусственная иммунная система**

Обработка персонализированных данных обучающихся для повышения качества получаемого инженерного образования осуществляется на основе подхода ИИС, основанного на принципах функционирования иммунной системы человека по защите организма от чужеродных агентов, таких как вирусы, бактерии и т.д. Механизмы обработки информации молекулами белков в иммунной системе в настоящее время вызывают большой интерес, а исследования в данной области имеют хорошие перспективы развития [10]. Такие свойства ИИС, как способность к адаптации, высокая чувствительность, самоорганизация, память и другие, определяют преимущества их использования при разработке инновационных технологий дистанционного обучения. Разработаны классические алгоритмы ИИС, которые основываются на различных отдельных механизмах работы иммунитета. Среди них наиболее распространены алгоритмы клонального отбора, негативной селекции и иммунносетевые алгоритмы. Единство всех процессов в биологической иммунной системе определяют попытки создания УИИС, объединяющей все процессы обработки информации в ИИС [11]. При этом создание такой высокоэффективной системы до сих пор остается нерешенной задачей ввиду ее сложности и междисциплинарности. Разработка в последнее время множества модифицированных улучшенных алгоритмов ИИС, направленных на решение конкретных задач, еще больше усложнила ситуацию вследствие отсутствия должной систематизации в данной области.

В данном исследовании для приложения в области дистанционного обучения под УИИС будет пониматься система, построенная на основе систематизации, классификации модифицированных алгоритмов ИИС и выделения наиболее эффективных алгоритмов с целью обработки данных, прогнозирования результатов обучения и оперативной корректировки процесса получения знаний.

В предлагаемой УИИС применяются не классические [11], а модифицированные алгоритмы ИИС на основе клональной селекции, негативного отбора и иммунных сетей. Модификации возможны как в вычислительных алгоритмах ИИС, так и в алгоритмах предварительной обработки данных. Разработана база знаний на основе онтологических моделей модифицированных алгоритмов ИИС. Унификация нацелена на снижение многообразия модифицированных алгоритмов ИИС с целью выделения наиболее эффективных для конкретного набора данных. Например, авторами разработан модифицированный алгоритм CPSOIW-AIS на основе кооперативного алгоритма роя частиц с весом инерции [12] и иммунносетевого алгоритма ИИС. За счет модификации алгоритма роя частиц с весом инерции процесс выделения информативных признаков занимает меньше времени, а модификация иммунносетевого алгоритма на основе гомологов повышает распознавание образов на границах классов.

### **Этапы создания когнитивной технологии дистанционного обучения техническим специальностям**

Процесс дистанционного обучения студентов с использованием когнитивной технологии на основе УИИС состоит из нескольких этапов. Прежде всего, осуществляется тестирование студентов для определения когнитивных способностей. Продукт Office 365 предлагает удобный инструмент для формирования тестов – Forms, в рамках которого определяется, к какому когнитивному стилю относится студент – левополушарному или правополушарному, является ли он сенестралом или декстралом [13], а также учитываются особенности восприятия зрения, слуха, психотип обучающегося (например, по теории Юнга, Холланда, Олдхем-Мориса). По результатам тестирования определяются баллы, согласно которым осуществляется выбор фрейма, содержащего подходящий сценарий обучения для студента и набор практических задач. Блок-схема процесса дистанционного обучения с использованием когнитивной технологии на основе УИИС представлена на рисунке 1.

В связи с тем что обучение техническим специальностям должно содержать упражнения, связанные с реальным промышленным производством и оборудованием, изучением комплекса технических средств разных фирм производителей и умением программировать логические контроллеры, необходима организация дистанционного доступа студентов к лицензионному программному обеспечению для выполнения упражнений (например, Eco Structure Control Expert фирмы Schneider Electric и Factory I/O). По результатам выполнения практических задач на основе выбранного фрейма формируется журнал успеваемости студентов с возможностью экспорта в Excel. Журнал успеваемости, содержащий оценки по различным выполненным практическим заданиям, формирует базу данных студентов для дальнейшей обработки. Инструмент «Аналитика» MS Teams позволяет расширить базу данных обучающихся за счет сведений об их активности, статистики посещаемости и т.д. В результате создается цифровой портрет студента для возможности анализа, прогнозирования результатов обучения и выбора персонализированной траектории получения знаний.

Затем осуществляется обработка базы данных студентов на основе УИИС, которая состоит из модифицированных алгоритмов ИИС. Далее выделяются классы для решения задачи распознавания образов, выбираются уровни сложности заданий (1-й уровень – низкая сложность, 2-й уровень – средняя сложность, 3-й уровень – высокая сложность). Осуществляется выбор информативных признаков для повышения эффективности обработки данных на основе УИИС. Решается задача распознавания образов. Производится оценка эффективности результатов моделирования на основе УИИС и принимается решение об уровне сложности заданий и выборе дальнейшей траектории персонализированного обучения студента. Осуществляется комплексная оценка знаний обучающегося, формируются профессиональные компетенции с учетом его слабых и сильных сторон, происходит оперативное управление процессом дистанционного обучения в MS Teams.

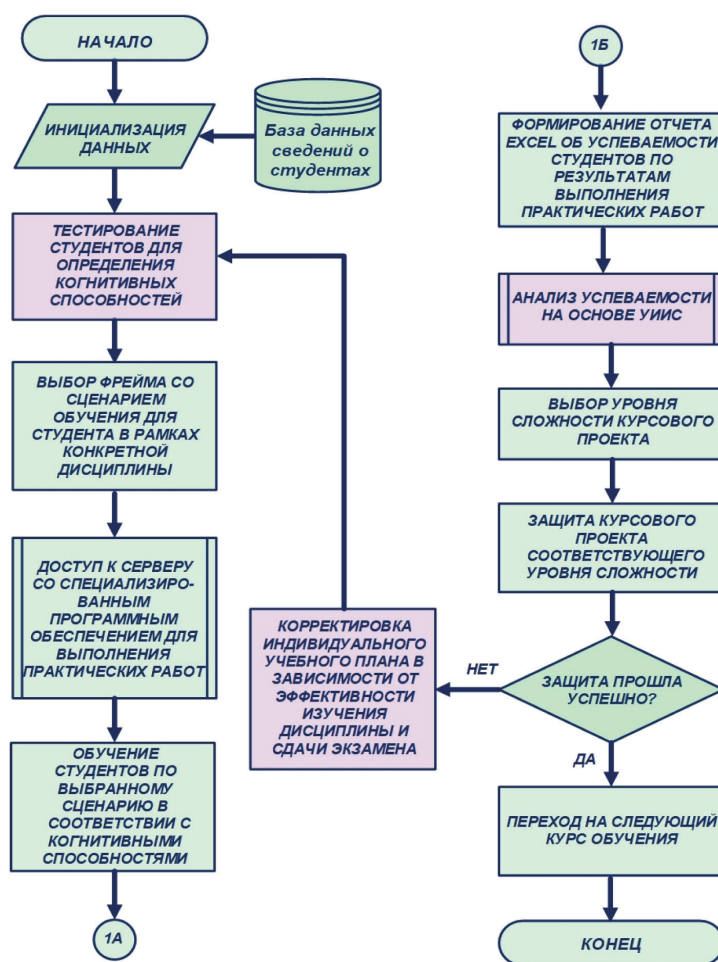


Рисунок 1 – Блок-схема процесса обучения с использованием когнитивной технологии на основе УИИС

### Результаты экспериментов

Апробация полученных результатов исследования осуществлялась с участием 75 студентов третьих и четвертых курсов Казахстанско-Британского технического университета на факультете информационных технологий по специальности «Автоматизация и управление» в рамках дисциплин "Introduction to microcontrollers" и "Automation of standard technological processes and manufacturing". Дистанционное обучение проводилось с использованием платформы MS Teams, применение которой удобно для получения статистических сведений о длительности подключения обучающихся (таблица 1), активности и вовлеченности в процесс обучения студентов на основе публикаций, ответов и других показателей.

Таблица 1 – Статистические данные подключения студентов

Индивидуальный номер студента	Время присоединения	Время ухода	Длительность	...	Идентификатор участника
19В03018	11.12.2021 15:00:54	11.12.2021 17:07:47	2 ч 6 мин	...	инициатор
19В03022	11.12.2021 15:01:06	11.12.2021 16:20:32	1 ч 19 мин	...	выступающий
19В03050	11.12.2021 15:01:07	11.12.2021 16:43:34	1 ч 42 мин	...	выступающий
...	...	...	...	...	...



Кроме того, формируется журнал успеваемости студентов и предоставляется визуализация эффективности обучения, в которой выделяются зоны успешного и провального выполнения заданий (рисунок 2).

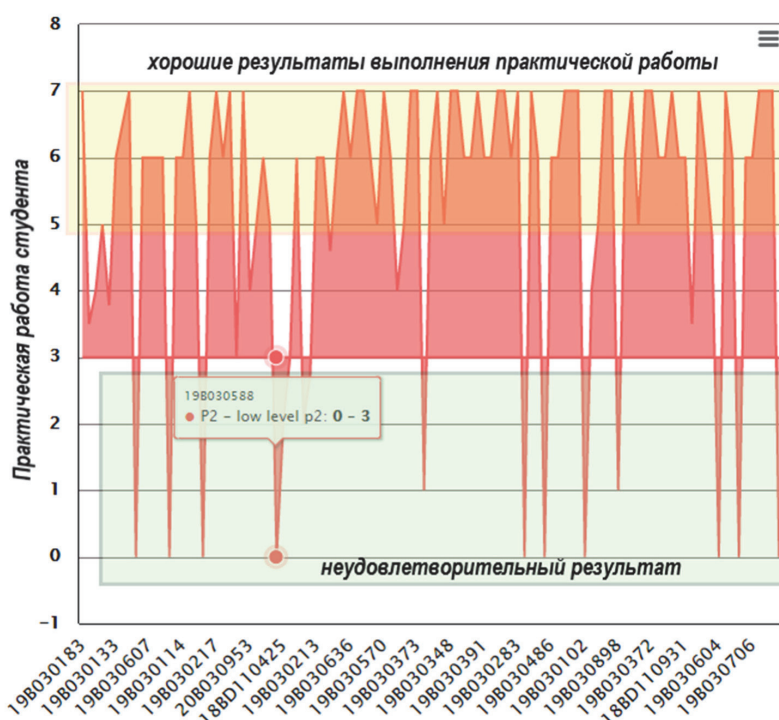


Рисунок 2 – Визуализация эффективности обучения студентов

На основе полученных статистических данных и информации после проведенного тестирования о когнитивных и физиологических характеристиках, психоэмоциональном состоянии, а также уровне подготовки студентов осуществляется интеллектуальный анализ с помощью УИИС. Решается задача распознавания образов и принимается решение о том, какой уровень сложности предложить студенту для выполнения заданий. В таблице 2 представлены результаты оценки эффективности анализа данных на основе модифицированных алгоритмов: RF-AIS алгоритм случайного леса и иммунносетевой алгоритм ИИС [14] (где решение задачи выделения информативных признаков осуществляется с помощью алгоритма Random Forest, а распознавание образов – с помощью иммунносетевого алгоритма AIS); FPA-AIS алгоритм опыления цветов и иммунносетевой алгоритм ИИС; CPSOIW-AIS кооперативный алгоритм роя частиц с весом инерции и иммунносетевой алгоритм ИИС [12]. Рассматриваются следующие оценки: Accuracy, Classification error, Precision, Recall, F-score [15] и время работы алгоритма. По времени моделирования лучший результат наблюдался у алгоритма CPSOIW-AIS – 966 мс, по сравнению со значением 4 с для RF-AIS.

Таблица 2 – Оценка эффективности алгоритмов

Модифицированный алгоритм ИИС	Оценка Accuracy	Оценка Classification error	Оценка Precision	Оценка Recall	Оценка F-score	Время
RF-AIS	95,3 %	4,7 %	96,0 %	96,0 %	95,6 %	4 с
FPA-AIS	88,3 %	11,7 %	88,7 %	91 %	88,7 %	6 с
CPSOIW-AIS	95,3 %	4,7 %	96 %	96 %	95,6 %	966 мс
...	...	...	...	...	...	

По результатам исследований высокую эффективность показали алгоритмы RF-AIS и CPSOIW-AIS – 95,3 % (рисунок 3).

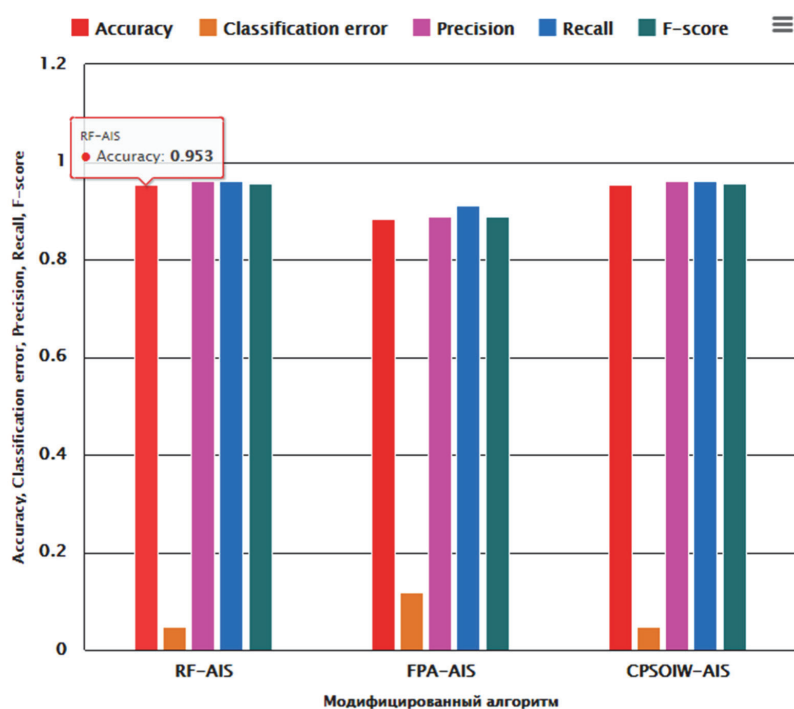


Рисунок 3 – Сравнительный анализ модифицированных алгоритмов

В условиях применения интеллектуальной технологии на основе УИИС процент студентов, получивших неудовлетворительные результаты по завершению курса, снизился с 17,3 до 8 % относительно общего числа студентов. Результаты статистических исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Статистика успеваемости студентов

Оценка студентов в буквенном эквиваленте по Болонской системе образования	Без применения УИИС (общее количество студентов в группе – 75)	В условиях применения УИИС (общее количество студентов в группе – 75)
«А» – отлично	30	35
«В» – хорошо	24	29
«С» – удовлетворительно	8	5
«F» – пересдача	13	6

### Заключение

Предлагаемая инновационная когнитивная технология дистанционного обучения позволяет решать актуальную проблему получения качественного профессионального технического образования на современном промышленном оборудовании с учетом когнитивных и физиологических особенностей восприятия учебной информации обучающимися. Персонализированное обучение, комплексная оценка знаний, прогнозирование качества обучения и оперативное управление процессом получения знаний в рамках проводимых исследований реализованы на базе УИИС и платформы MS Teams.

Особенностями предлагаемой технологии являются: гибкость обучения в удобное время и определенном темпе в зависимости от характеристик обучающегося; модульность при составлении курсов и треков обучения для индивидуализации процесса получения знаний и практических навыков; максимальная адаптация процесса обучения под потребности студента; постоянный мониторинг, контроль качества и оперативное управление обучением. Достоинствами разработанной технологии являются возможность эффективной обработки неоднородных данных значительной размерности за счет выбора наилучших модифицированных алгоритмов УИИС и реализация этой технологии на различных платформах.

Список литературы / References

1. *Kamenev R.V., Klassov A.B., Krashennnikov V.V.* The concept of using artificial intelligence in distance learning // *Journal of Pedagogical Innovations*. – 2021. – Vol. 4. – P. 30–41.
2. *Li R.* An artificial intelligence agent technology based web distance education system // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. – 2020. – Vol. 40. – P. 1–11.
3. *Correia A.-P., Liu C., Xu F.* Evaluating videoconferencing systems for the quality of the educational experience, distance education // *Distance Education*. – 2020. – Vol. 41. – P. 429–452.
4. *Dermeval D., Paiva R., Bittencourt I., Vassileva J., Borge D.* Authoring tools for designing intelligent tutoring systems: a systematic review of the literature // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. – 2018. – Vol. 28. – P. 336–384.
5. *Smith B.I., Chimedza C., Bührmann J.H.* Global and individual treatment effects using machine learning methods // *Artificial Intelligence Education*. – 2020. – Vol. 30. – P. 431–458.
6. *Dyulichева Y.* The swarm intelligence algorithms and their application for the educational data analysis // *Open Education*. – 2019. – Vol. 23. – P. 33–43.
7. *Wei Y.* Research on the construction of online learning education space under the background of artificial intelligence + education // *International Conference on Big Data & Artificial Intelligence & Software Engineering*. – 2020. – P. 170–173.
8. *Matthew N.O. Sadiku, Tolulope J. Ashaolu, Abayomi Ajayi-Majebi, Sarhan M. Musa.* Artificial intelligence in education // *International Journal of Scientific Advances*. – 2021. – Vol. 2. – P. 5–11.
9. *Lantz-Andersson A.* Framing in educational practices. Learning activity, digital technology and the logic of situated action. – Tryck: Geson Hylte Tryck, Göteborg, 2009. – 214 p.
10. *Tarakanov A.O., Borisova A.V.* Formal immune networks: self-organization and real world applications advances in applied self-organizing systems / ed. M. Prokopenko. – Springer, 2013. – P. 321–341.
11. *Chen Y., Wang X., Zhang Q., Tang C.* Unified artificial immune system // *Proceeding of 5th International conference and computational intelligence and communication networks*. – 2013. – P. 617–621.
12. *Samigulina G.A., Massimkanova Zh.A.* Development of modified cooperative particle swarm optimization with inertia weight for feature selection // *Cogent Engineering*. – 2020. – Vol. 7.
13. *Samigulina G.A., Samigulin T.I.* Development of a cognitive mnemonic scheme for an optical smart-technology of remote learning based of artificial immune systems // *Computer Optics*. – 2021. – Vol. 45. – P. 286–295.
14. *Samigulina G.A., Samigulina Z.I.* Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control // *Artificial Intelligence Review*. – 2019. – Vol. 52. – P. 2457–2473.
15. *Powers D.M.W.* Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation // *Journal of Machine Learning Technologies*. – 2011. – Vol. 2. – P. 37–63.