

## Интеграция технологических и дидактических инноваций при проектировании гибридной интеллектуальной системы сопровождения исследовательской деятельности обучающихся по математике

С. Н. Дворяткина, Л. В. Жук\*, С. В. Щербатых

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец, Российская Федерация  
Адрес: 399770, Российская Федерация, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28

\* krasnikovalarisa@yandex.ru

### Аннотация

Современное образование предполагает интеграцию инновационных дидактических методик и цифровых технологий. В контексте новой цифровой парадигмы актуальными становятся вопросы обеспечения качественного управления образовательными системами, обеспечивающего в полной мере потребности каждого обучающегося в самоактуализации, активизацию его мотивационных и когнитивных процессов. В данном аспекте особую значимость приобретает проблема организации и сопровождения исследовательской деятельности школьников в области математики посредством интеллектуального управления. Интеллектуальные обучающие системы способны обеспечить процессы саморегуляции личности и индивидуализации обучения в ходе освоения сложного математического знания. В статье представлен опыт проектирования гибридной интеллектуальной системы сопровождения проектно-исследовательской деятельности обучающихся по математике. Ведущая идея авторской концепции интеллектуального управления образовательным процессом в условиях гибридной интеллектуальной обучающей среды заключается в обеспечении развития интеллектуального и творческого потенциала каждого школьника в ходе освоения сложного знания посредством адаптации современных достижений в науке. Определены архитектура, параметры и функционал гибридной интеллектуальной обучающей системы. Представлено организационно-методическое обеспечение развития проектно-исследовательской деятельности школьников в виде базы данных исследовательских заданий, деятельность по выполнению которых выступает важным фактором повышения уровня учебной мотивации и исследовательской культуры, обеспечения гармоничного развития личности школьника. Выявлены дидактические возможности фасетной классификации, обеспечивающей наполнение базы данных проблемно-ориентированных заданий с учётом градации уровней исследовательской деятельности и профилей мышления школьников, построение индивидуальной образовательной траектории, управление глубиной внутрипредметных, межпредметных и междисциплинарных связей, а также интегративными мыслительными процессами в целом.

**Ключевые слова:** проектно-исследовательская деятельность, сложное знание, гибридная интеллектуальная обучающая система, фасетная классификация

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-29-14009 «Организация гибридной интеллектуальной обучающей среды в условиях цифровизации общего образования (на примере математики)».

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**Для цитирования:** Дворяткина С. Н., Жук Л. В., Щербатых С. В. Интеграция технологических и дидактических инноваций при проектировании гибридной интеллектуальной системы сопровождения исследовательской деятельности обучающихся по математике // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 2. С. 441-454. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202202.441-454>

© Дворяткина С. Н., Жук Л. В., Щербатых С. В., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## **Integration of Technological and Didactic Innovations in the Design of a Hybrid Intelligent System to Support the Research Activities of Students in Mathematics**

**S. N. Dvoryatkina, L. V. Zhuk\*, S. V. Shcherbatykh**

Bunin Yelets State University, Yelets, Russian Federation

Address: 28 Kommunarov St., Yelets 399770, Russian Federation

\* krasnikovalarisa@yandex.ru

### **Abstract**

Modern education involves the integration of innovative didactic techniques and digital technologies. In the context of the new digital paradigm, the issues of ensuring high-quality management of educational systems that fully meet the needs of each student in self-actualization, activation of his motivational and cognitive processes are becoming relevant. In this aspect, the problem of organizing and supporting the research activities of schoolchildren in the field of mathematics through intellectual management is of particular importance. Intelligent learning systems are able to provide the processes of self-regulation of personality and individualization of learning during the development of complex mathematical knowledge. The article presents the experience of designing a hybrid intelligent system to support the design and research activities of students in mathematics. The leading idea of the author's concept of intellectual management of the educational process in a hybrid intellectual learning environment is to ensure the development of the intellectual and creative potential of each student during the development of complex knowledge through the adaptation of modern achievements in science. The architecture, parameters and functionality of a hybrid intelligent learning system are determined. The article presents organizational and methodological support for the development of design and research activities of schoolchildren in the form of a database of design and research tasks, the activities of which are an important factor in increasing the level of educational motivation and research culture, ensuring the harmonious development of a student's personality. The didactic possibilities of facet classification are revealed, which provides the filling of the database of problem-oriented tasks taking into account the gradation of levels of research activity and thinking profiles of schoolchildren, the construction of an individual educational trajectory, the management of the depth of intra-subject, inter-conceptual and interdisciplinary connections, as well as integrative thought processes in general.

**Keywords:** design and research activities, complex knowledge, hybrid intelligent learning system, faceted classification

**Funding:** The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 19-29-14009 "Organization of a hybrid intelligent learning environment in the context of digitalization of general education (by the example of mathematics)".

*The authors declare no conflict of interest.*

**For citation:** Dvoryatkina S.N., Zhuk L.V., Shcherbatykh S.V. Integration of Technological and Didactic Innovations in the Design of a Hybrid Intelligent System to Support the Research Activities of Students in Mathematics. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(2):441-454. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202202.441-454>



## Введение

Современные тенденции развития социально-экономической и культурной сфер жизни российского общества способствуют ускорению процесса становления новой системы образования, ориентированной на вхождение в мировое образовательное пространство. Важнейшим условием построения учебно-воспитательного процесса в отечественной школе, обуславливающим достойную позицию в глобальном рейтинге образовательных систем, становится формирование и развитие у современных школьников компетенций XXI века: когнитивных (критического мышления, способности к поиску, анализу и синтезу информации); межличностных (навыков общения, умения работать в команде); внутриличностных (умения управлять собственной учебной деятельностью, выбирать стратегии обучения, использовать цифровые инструменты для самообразования). Данные новейших психолого-педагогических исследований свидетельствуют о том, что указанные компетенции эффективнее всего проявляются в процессе самостоятельного поиска и постановки проблем, генерирования нестандартных идей и решений, переноса знаний в новые ситуации<sup>1</sup>. В связи с этим одной из ключевых задач современной школы является формирование у выпускников целостной системы исследовательской деятельности [1].

В последнее десятилетие широко распространяется идея интеграции процесса учебного познания и современных цифровых технологий, разрабатываются методы управления исследовательской деятельностью посредством применения автоматизированных обучающих систем. Отличительными особенностями этих программных продуктов, основанных на технологиях искусственного интеллекта, являются наличие гибкого интерфейса, приближенного к естественно-языковому уровню, и высокая степень адаптированности, выражающаяся в способности группировать контингент обучающихся по кластерам индивидуальных характеристик, выстраивать параметрические модели обучаемых, отражающие особенности их когнитивного развития, осуществлять дифференциацию учебного материала. В ряду наиболее популярных зарубежных интеллектуальных обучающих систем отметим MATHia by Carnegie Learning, Yixue Education, Wayang Outpost, Century Tech, Math-u-See, Education Perfect, Wayang Outpost. В то же время российские системы обучения, базирующиеся на интеллектуальном управлении познавательной деятельностью, применяются в образовательном процессе школы достаточно редко. Большинство из них разрабатываются и реализуются в пределах отдельно взятых вузов, в рамках конкретных учебных дисциплин<sup>2</sup> [2]. В этой связи возрастает актуальность разработки дидактических механизмов проектирования и реализации интеллектуальных обучающих систем для эффективного сопровождения исследовательской деятельности школьников.

## Задачи исследования

Основы электронного обучения были заложены в середине XX века. Ключевая идея концепции программированного обучения, разработанной психологом Гарвардского университета Б.Ф. Скиннером, заключалась в повышении эффективности управления учебным процессом посредством выстраивания его в соответствии с психологическим портретом обучаемого. В 1960-е годы американским педагогом Н. Кроудером был предложен алгоритм разветвленного программированного обучения, обеспечивающий построение траекторий освоения учебного материала на основе анализа ответов учащихся. В 1980-е годы начались исследования в области интеллектуальных технологий формирования в обучающих системах моделей предметной области, моделей объяснения, проектирования стратегий обучения и разработки методов оценки знаний. Появились адаптивные обучающие системы, способные генерировать последовательности управляющих воздействий в зависимости от параметров модели обучаемого и результатов контроля его знаний [3].

Начало XXI века ознаменовалось появлением гибридных интеллектуальных обучающих систем (ГИОС), проектирование которых основано на синергетической комбинации интеллектуальных методов, таких как экспертные системы, нейросети, генетические алгоритмы, имитационные статистические модели, позволяющей охватить полный спектр когнитивных и вычислительных возможностей. К важнейшим характеристикам ГИОС относятся способность накапливать знания и использовать их для самообучения, адаптироваться к индивидуальным возможностям и потребностям обучающегося, проектировать индивидуальный образовательный маршрут в зависимости от уровня предметной подготовки.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования в области создания и внедрения интеллектуальных обучающих систем в образовательную среду школы и вуза. В частности, в работах П.Д. Басалина, А.Е. Тимофеева представлена реализация оболочки гибридной интеллектуальной обучающей среды, базирующейся на знаниях продукционного типа и нейросетевых технологиях принятия решений. В качестве формализма описания знаний эксперта (преподавателя) на инфологическом уровне предлагается граф решений, позволяющий компактно описывать логику рассуждений при планировании рабочего сценария обучения. В подсистеме приобретения знаний предусмотрены алгоритмы трансформации графа решений в набор продукционных правил и преобразования его в эквивалентную по логике «рассуждений» нейронную сеть прямого распространения. Описан механизм потактового формирования сценария обучения под управлением нейронной сети с учетом возможностей двухуровневого (компактного и детального) представления изучаемого материала и возврата в любое из предшествующих состояний при необходимости

<sup>1</sup> Обухов А. С. Развитие исследовательской деятельности учащихся. М.: Нац. книжный центр, 2015. 283 с.; Гайнутдинова Л. И., Данилова Е. В., Левина О. Г. Совершенствование практики организации проектно-исследовательской деятельности в старшей школе // Интеллектуальный потенциал образовательной организации и социально-экономическое развитие региона. Ярославль: МУБиНТ, 2016. С. 64-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28106267> (дата обращения: 27.05.2022).

<sup>2</sup> Оценка качества образования в условиях дистанционного обучения: опыт проживания пандемии системами школьного образования стран постсоветского пространства / Сост. и науч. ред. В. А. Болотов, Т. А. Мерцалова, ред. И. М. Гумерова. М.: Алекс, 2021. 390 с. URL: [https://eaoko.org/upload/library/21\\_Distance\\_WEB.pdf](https://eaoko.org/upload/library/21_Distance_WEB.pdf) (дата обращения: 27.05.2022).



повторения изученных понятий [4].

В научной литературе представлены результаты эмпирических исследований, доказывающих преимущество обучения в интеллектуальных средах над традиционным форматом и возможность его массового использования в образовательных организациях: анализ эффективности адаптивного курса по статистике в университете Карнеги-Меллон [5]; сравнительное исследование результативности адаптивных курсов для инженерных направлений подготовки в университете Нового Южного Уэльса [6, 7]; квазиэкспериментальное исследование в рамках проекта Adaptive Learning Market Acceleration Program<sup>3</sup>; проект Adaptive Learning in Statistics в университетах штата Мэриленд<sup>4</sup>; исследования эффективности обучения математике на платформе Intellipath в техническом университете Колорадо [8, 9], а также в адаптивной системе LearnSmart в Техасском университете [10].

На сегодняшний день интеллектуальные системы обучения применяются по трем ключевым направлениям:

- как обучающие системы, реализующие пошаговые учебные действия, основанные на типичной архитектуре нейронной сети, включающей следующие компоненты: предметную область, дидактическую модель (методы, приемы обучения) и модель учащихся (знания об опыте обучающегося, методах освоения им знаниевых конструктов); модель адаптивной учебной деятельности (систематизация действий совместно с достижениями учащегося, анализ его ошибок); сбор данных (обеспечение индивидуальной формирующей обратной связи); анализ данных (определение ведущего метода адаптивного обучения с целью прогнозирования следующего шага и внесения корректив в модель учащегося) [11];
- с целью оценки результатов обучения на основе реализации экспертных систем с нечеткой логикой и нейронных сетей. К активно внедряемым в учебный процесс следует отнести интеллектуальное программное обеспечение по математике MATHia, предоставляющее индивидуальную поддержку учащимся с целью получения новых знаний и их оценки, а также широкодоступные цифровые интеллектуальные программы, ориентированные на оценку знаний и используемые для поддержки индивидуального обучения: Dreambox Learning Math (США), Torpr (Индия), Yixue (Китай) [11];
- в роли исследовательской среды обучения, основанной на методологии конструктивизма (учебные исследовательские среды): Fraction Lab, Betty's Brain, Crystal Island [11].

Следует отметить, что несмотря на наличие спектра научных публикаций, посвященных интеллектуальному управлению процессом учебного исследования (в частности, создание и применение компьютеризированных адаптивных учебных посо-

бий для оценки навыков решения проблем [12], разработка учебных материалов, поддерживающих метатеорию решения проблем на основе инициации диалога [13]), критиками автоматизированного обучения утверждается, что из-за отсутствия четких инструкций и необходимости самостоятельного открытия обучающимися принципов предметной научной области подобные компьютерные системы способны вызвать когнитивную перегрузку. Такое мнение отчасти оправдано тем, что исследовательская деятельность представляет собой особый, сложный вид интеллектуально-творческой деятельности, порождаемый в результате функционирования механизмов поисковой активности и строящийся на базе конвергентного (логические алгоритмы, анализ и синтез, суждения и умозаключения) и дивергентного (способность обнаруживать и формулировать проблему, генерировать большое количество идей её решения, нетривиальный подход к оцениванию ситуации) мышления<sup>5</sup>. В связи с этим управление исследовательской деятельностью оценивается многими учеными как сложная задача, поскольку педагог не всегда может контролировать процесс получения образовательных результатов и корректировать методику обучения в зависимости от индивидуальных особенностей учащегося, темпа освоения материала, обучаемости и прочих факторов [14]. В то же время исследовательская деятельность обозначена в основных нормативных образовательных документах России и зарубежных стран как важное направление в математическом и естественнонаучном образовании. В частности, в ФГОС СОО владение навыками учебно-исследовательской деятельности выступает как обязательное требование к результатам освоения основной образовательной программы.

Настоящее исследование ориентировано на создание и реализацию открытой и гибкой автоматизированной системы для эффективного планирования, организации и сопровождения исследовательской деятельности школьников в области математики на основе интеграции технологических и дидактических инноваций. Основная **задача исследования** – разработать технологические и дидактические механизмы проектирования ГИОС и обеспечить их интеграцию в процессе обучения математике в школе.

## Теоретический анализ проблемы исследования

На основе анализа значительного числа научных публикаций, отражающих концептуальные, теоретико-методологические и процессуально-технологические аспекты проблемы развития исследовательской деятельности школьников, сформировалось авторское понимание сущности данного феномена как активного, творческого процесса, осуществляемого в состоянии неопределенности, направленного на получение учащимся субъективно нового знания об окружающем мире посред-

<sup>3</sup> Yarnall L., Means B., Wetzel T. Lessons Learned From Early Implementations of Adaptive Courseware. Menlo Park, CA: SRI International, 2016. 42 p. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sri.com/wp-content/uploads/2021/12/almmap\\_final\\_report.pdf](https://www.sri.com/wp-content/uploads/2021/12/almmap_final_report.pdf) (дата обращения: 27.05.2022).

<sup>4</sup> Joo J., Spies R. R. Aligning Many Campuses and Instructors around a Common Adaptive Learning Courseware in Introductory Statistics. Lessons from a Multi-Year Pilot in Maryland. Report. ИТНАКА, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://sr.ithaka.org/wp-content/uploads/2019/10/SR-Report-Adaptive-Learning-in-Statistics-Summary-Report-11072019.pdf> (дата обращения: 27.05.2022).

<sup>5</sup> Савенков А. И. Психологические основы исследовательского подхода к обучению. М.: Ось-89, 2005. 479 с.





ством применения научного метода, а также на формирование новых личностных структур (научного мышления, научного мировоззрения, исследовательского опыта). Указанные характеристики позволяют считать исследовательскую деятельность ведущим средством интеллектуального развития личности обучаемого, стимулирования его познавательной активности и формирования способов реализации собственного творческого потенциала.

Эффективным направлением развития исследовательской деятельности школьников выступает обучение математике на основе освоения сложного знания. Считаем, что такой подход позволяет создавать исследовательские ситуации, ведущие к развитию у обучающихся способности поддерживать динамическую устойчивость состояния мыслительной деятельности при допустимых значениях внутренних или внешних возмущений, преодолевать неопределенность личностных смыслов и предпочтений посредством самоорганизации, то есть выбора форм и способов поведения, отношений, деятельности, способствующих формированию собственной картины мира. Управление образовательными процессами на базе освоения сложного знания способствует развитию у школьников теоретического и эмпирического мышления (сравнение, аналогия, анализ, синтез и т.п.), реализации процессов доминирования как логической, так и вероятностной схем рассуждений, формированию умений выделять главное, делать теоретические и эмпирические обобщения, осуществлять компьютерное и математическое моделирование. В качестве обобщенных конструктов сложного знания учащимся для исследования предлагаются такие «зоны современных достижений в науке» как нечеткие множества, элементы фрактальной геометрии, комплексные числа, стохастические процессы, элементы нелинейных динамических систем и т.п. При этом возможность адаптации современных достижений в науке к школьной математике дает мощный мотивационный заряд к изучению математических дисциплин за счет установления связи с реальной жизнью и практикой, понимания и осмысления многоступенчатых математических абстракций, создавая феномен проявления синергетических эффектов и способствуя повышению качества математического образования в школе.

При разработке методического обеспечения процесса развития исследовательской деятельности школьников в проектируемой ГИОС авторы опирались на результаты ряда исследований в области персонализации адаптивных систем обучения: за счет выявления когнитивных характеристик (объем рабочей памяти, индуктивная способность рассуждений, навыки ассоциативного обучения) [15, 16]; аффективных состояний [17, 18, 19]; личностных характеристик [20]; учета эмоционального опыта (интерес к математике, ожидание успеха, самооффективность) [21, 22]; динамики обучения<sup>6</sup>; стилей обучения [23, 24]. На наш взгляд, организация работы в ГИОС должна осуществляться на основе построения его интегрированного профиля обучаемого, включающего когнитивную, информационно-знаниевую и личностную составляющие. Индивидуальные различия в этих компонентах познаватель-

ной сферы во многом обусловлены доминирующим типом мышления, представляющим собой совокупность индивидуальных способов аналитико-синтетического преобразования информации, проявляющихся в динамике и направленности мыслительной деятельности, методах принятия решений и их реализации.

Американским психологом Дж. Брунером выделены четыре базовых типа мышления, каждый из которых обладает специфическими характеристиками. *Предметное мышление* присуще людям с практическим складом ума, связано с непосредственной манипуляцией предметами в пространстве и во времени, результатом которой становится мысль, воплощенная в новой конструкции. Этим типом мышления обладают люди с практическим складом ума. *Образное мышление* свойственно людям с художественным складом ума, обеспечивает преобразование информации посредством действий с образами и продуцирует мысль, воплощенную в новом образе. *Знаковое мышление* у людей с гуманитарным складом ума характеризуется преобразованием информации на основе умозаключений, в результате чего появляется мысль в форме понятия или высказывания, фиксирующего существенные отношения между обозначаемыми предметами. Наконец, *символическое мышление*, которым обладают люди с математическим складом ума, нацелено на преобразование информации с помощью правил вывода и порождает мысль, выраженную в виде структур и формул, фиксирующих существенные отношения между символами<sup>7</sup>. Независимо от типа мышления каждый индивид также характеризуется определенным уровнем *креативности* – способности мыслить творчески и находить нестандартные решения задач, наличие которой обеспечивает успешность в любой сфере деятельности. Сочетание доминирующего типа мышления и уровня креативности выступает важнейшей личностной характеристикой, определяющей стиль деятельности человека, его склонности, интересы, профессиональную направленность, и в классической психологии обозначена термином *профиль мышления*.

Дадим краткую характеристику профилей мышления, диагностируемых у старшеклассников на начальном этапе работы в ГИОС. *Знаково-символический профиль* характеризуется склонностью к решению отвлеченных теоретических задач на основе абстрактно-теоретического мышления, раскрытию закономерностей в абстрактных понятиях, выполнению теоретических построений. *Образно-геометрический профиль* определяется умением понимать чертежи, разбираться в схемах устройств, решать практические физико-технические задачи. *Конкретно-деятельностный профиль* мышления ориентирован на выполнение отдельных коротких операций по заданной схеме с использованием кратковременной и оперативной памяти, практическое преобразование предметов в режиме реального времени. *Информационно-вычислительный профиль* мышления характеризуется преобладанием процессов генерации оригинальных идей, умением применять аналитические и алгоритмические подходы к постановке, анализу и решению проблем, применять вычислительные инструменты для ре-

<sup>6</sup> Rus V., Baggett W., Gire E., Franceschetti D., Conley M., Graesser A.C. Towards Learner Models based on Learning Progressions in DeepTutor // Learner Models ; ed. by R. Sottolare. Army Research Lab, 2013.

<sup>7</sup> Bruner J. S. Beyond the Information Given: Studies in the Psychology of Knowing. W. W. Norton, Incorporated, 1973. 526 p.



шения разнообразных задач. *Историко-генетический профиль* определяется доминированием гуманитарной направленности мыслительных процессов, нацеленностью на изучение генезиса (происхождения, этапов развития) конкретных явлений, анализ причинности происходящих изменений.

Исследовательская деятельность школьников при обучении математике в ГИОС разворачивается в ходе выполнения упорядоченных, образующих единую мотивационно-прикладную целостность комплексов заданий, относящихся к категории нестандартных, исследовательских. Такие задачи характеризуются полным отсутствием алгоритмического предписания, многовариантностью гипотез, способов решения и требуют поиска объяснения и доказательств закономерных связей и отношений, экспериментально наблюдаемых или теоретически анализируемых фактов, явлений. В результате происходит «открытие» нового знания об объекте исследования, способа или средства деятельности, освоение методов научного познания, более глубокое проникновение в суть математических понятий, идей. Генерация комплекса исследовательских заданий в ГИОС осуществляется с учетом исходного уровня знаний обучающегося, типа его мыслительной деятельности, а также степени сформированности исследовательских умений. Экспертная система подбирает такие параметры учебного процесса, как уровень сложности и глубина изучения предмета, стиль изложения, скорость предоставления материала, тем самым выстраивая индивидуальную образовательную траекторию, обеспечивая своевременную и гибкую обратную связь, персонализированный подход к проблематике моделирования исследуемых явлений и к поиску решения задач.

## Методика проектирования гибридной интеллектуальной обучающей системы

Модель функционирования гибридной интеллектуальной обучающей системы с расширяемой базой данных формально представляется в виде иерархического дерева, в основе которого лежит база данных исследовательских заданий, дифференцированных по уровням сложности элементов исследуемого математического конструкта. В качестве технологического ядра используется гибридная система взаимодействия искусственной нейронной сети и экспертной системы. На каждом следующем уровне иерархического дерева экспертная система формирует базу данных логического продолжения исследования конкретного блока знания в соответствии с такими факторами, как степень научности познания, доминирующий тип мышления, успешность овладения исследовательскими компетенциями. Тем самым формируется индивидуальная образовательная траектория, определяемая состоянием личностного развития школьника.

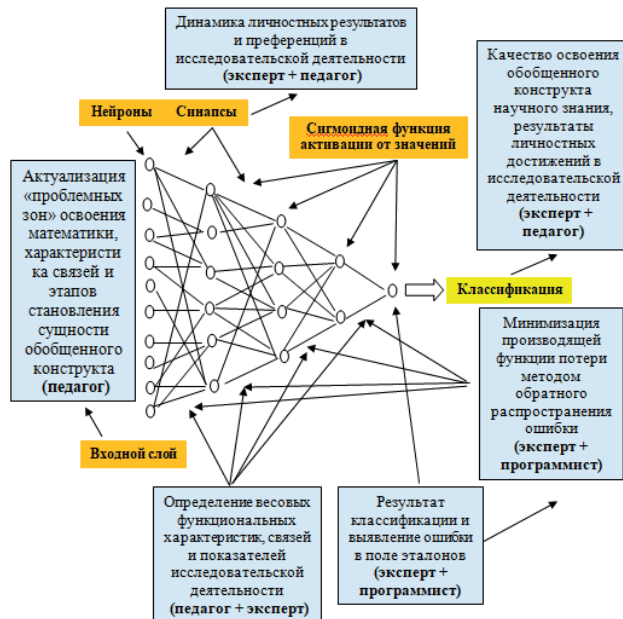
На рисунке 1 более подробно представлены строение и особенности функционирования нейросетевой компоненты гибридной системы. Как видно, в основе построения ГИОС лежит динамический случайный отбор параметров на слоях искусственной нейронной сети. В процессе распознавания результатов освоения дидактического поля учебных элементов (знаний, умений, навыков, математических методов, алгоритмов и процедур) используется нейронная сеть прямого действия с обратным распространением ошибки и нечеткое моделирова-

ние правил фаззификации входных переменных, в том числе на скрытых слоях.

Обучение многослойной сети включает следующие этапы:

1. определение параметров входного слоя (9 нормированных параметров и входной параметр, выявляющий особенности профиля мышления (знаково-символический, образно-геометрический, конкретно-деятельностный, информационно-вычислительный, историко-генетический профиль). Всего строится пять нейронных сетей, при этом технология построения обучающей выборки остается идентичной для всех;
2. определение показателей 9 параметров входных слоев. Диагностика состояния качества исследовательской деятельности респондентов. Выборка состоит из 100-125 школьников – 20-25 школьников для одной нейронной сети. Определяются репрезентативность, нормальное распределение, среднее, дисперсию, доверительный интервал);
3. установление необходимости пустого пересечения доверительных интервалов;
4. осуществление кластеризации данных во входных и выходных выборках методом К-средних, которые определяют разделение кластеров на «слабых», «средних» и «сильных» респондентов-школьников. Критерием является, например, манхэттенское расстояние между вектором показателей базовых прецедентов и нулем девятимерного пространства ( $K = 3-5$ , всего по 27-45 базисных прецедентов и откликов на прецеденты (центры масс кластеров) по 5-ти нейронным сетям);
5. для каждой нейронной сети на каждом скрытом слое и для каждого показателя прецедента определяются по три положительных сдвига возможностей роста с числом вариантов прецедентов-2 равным  $27 * 3 * 81 * 81$ ;
6. кластеризация прецедентов-2 методом К-средних ( $K = 81 * 81$ ) с определением 27 базисных прецедентов-2;
7. выявление аналогичной динамики и технологии для 2 и 3 скрытого слоя для 27 прецедентов-2, 3;
8. варьирование для выходного слоя 27 откликов по итогу кластеризации выборки по 3-м отрицательным сдвигам по каждому из 9 показателей (больших по показателям, чем сумма положительных сдвигов для прецедентов 1,2 и 3);
9. на всех слоях нейронной сети (на каждой из 5-ти) по 27 выборок и после необходимого упорядочивания «прецедент-отклик» определение матрицы синаптических весов. Таким образом, обучающая выборка оказывается однозначно составленной из пар (прецедент-отклик) и осуществляется запуск процедуры определения матриц синаптических коэффициентов для каждой нейронной сети ( $j = 1, 2, \dots, 5$ ).





Р и с. 1. Логическая схема функционирования нейросетевого компонента гибридной интеллектуальной системы организации исследовательской деятельности

Fig. 1. Logical scheme of functioning of the neural network component of a hybrid intelligent system for organizing research activities

Авторами разработано педагогическое сопровождение базы данных исследовательских заданий, представленное инструкциями и правилами, детализированными по уровням осво-

ения исследовательской деятельности; информационным сопровождением (ссылки, библиографические источники, презентации, видеоролики, формулы и табличные данные, графические материалы), поддержкой дистанционных сред и систем компьютерного моделирования.

При наполнении базы данных исследовательских заданий для гибридной интеллектуальной системы обучения использован фасетный метод классификации Ш.Р. Ранганатана, предполагающий параллельное разделение множества объектов по одному признаку на отдельные, независимые друг от друга подмножества [25]. К дидактическим возможностям фасетной классификации относим: многоуровневость (возможность использования на разных этапах исследования – от выдвижения гипотезы к построению и преобразованию математической модели, далее – к постановке новой исследовательской задачи), простоту автоматизации (возможность интеграции алгоритмов построения фасетов в гибридную обучающую систему), построение индивидуальной образовательной траектории (возможность формирования вариативного набора проблемно-ориентированных задач различной сложности и содержания). В качестве независимых классификационных параметров при наполнении базы данных исследовательских заданий определены два фасетных признака – уровень развития исследовательской деятельности и профиль мышления обучаемого.

В основу градации уровней исследовательской деятельности положен порядок развертывания школьником исследовательских процедур в соответствии с такими критериями, как степень самостоятельности на отдельных этапах исследования, мера полноты выполняемых операций, их рациональная последовательность. Характеристики уровней исследовательской деятельности представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. Характеристики уровней исследовательской деятельности школьников в области математики  
Table 1. Characteristics of the levels of research activity of schoolchildren in the field of mathematics

Уровень	Процедуры исследовательской деятельности в процессе освоения сложного знания
Оrientировочно-мотивационный	-актуализация базовых противоречий, приводящих к возникновению проблемного поля исследуемого математического объекта; -анализ вариативности дефиниций, способов представления и условий существования объекта; -историко-генетическое обоснование содержания математического знания [26]
Репродуктивный	-актуализация ранее усвоенных математических знаний; -актуализация форм и методов научного познания на основе анализа эталонов решения проблем; -выбор способов деятельности по раскрытию отдельных качеств исследуемого объекта [26]
Эмпирический	-реализация эмпирических проб, поиск частных проявлений сущности исследуемого объекта; -формулировка гипотез, анализ их адекватности, достоверности [26]
Теоретический	-постановка исследовательской задачи и построение плана ее решения; -построение концептуальной, а затем математической модели исследуемого объекта; -освоение методов научного мышления (индукции, дедукции, аналогии и др.) [26]
Творческий	-варьирование условий и данных задачи, самостоятельная постановка новых задач; -перенос методов исследования в новую ситуацию; -генерирование выводов, теоретические и эмпирические обобщения; -поиск области реальных приложений исследованных математических моделей [26]



## Анализ полученных результатов

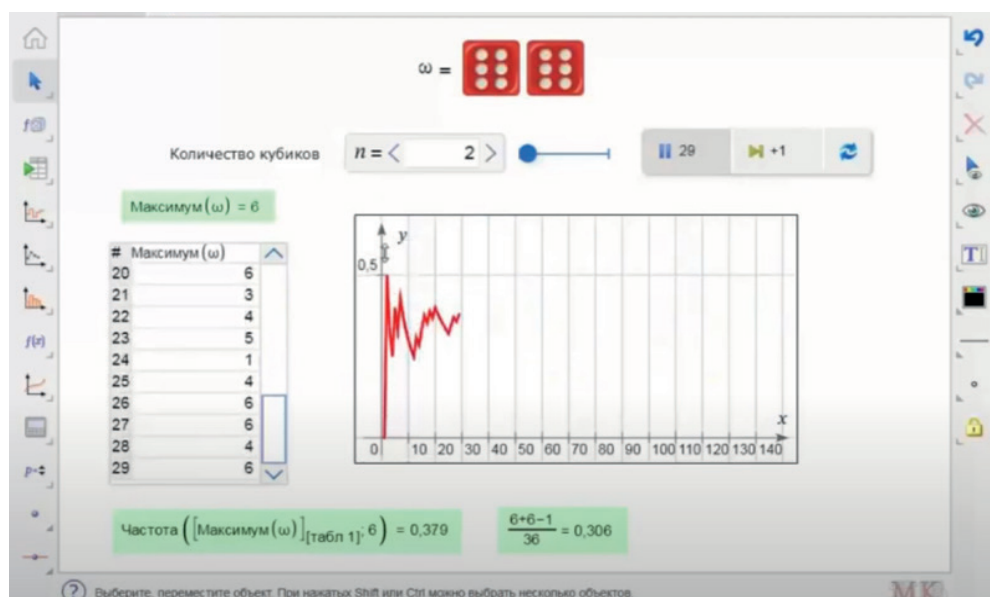
Рассмотрим фасетную технологию конструирования цепочки исследовательских заданий по математике на примере стохастики. На наш взгляд, приоритетная роль стохастики в совершенствовании и развитии математического мышления школьников обусловлена возможностью опосредованного формирования единой научной картины мира, стохастического мировоззрения, современного (вероятностного) стиля мышления, а также математической культуры как одного из основных компонентов общей культуры личности.

Технологию содержательного наполнения банка исследовательских задач по стохастике на основе фасетной классификации в общем виде представляем последовательностью шагов: выбор раздела (темы) учебного курса; подбор задач близкой структуры, относящихся к определенному фасету; выделение фасетных признаков (изменяемых элементов, на основе которого выделяются подгруппы и строятся фасеты) и базовых слов (общих неизменяемых элементов); формирование фасетной формулы задачи (структуры, записанной с использованием фасетных признаков и базовых слов); определение возможных значений фасетных признаков, совмещение которых с фасетной формулой позволит сгенерировать новые условия задач.

Опишем подробнее алгоритм конструирования разноуровне-

вых исследовательских задач по теме «Случайные величины» для обучающихся с образно-геометрическим профилем мышления.

Задачи *ориентировочно-мотивационного* уровня требуют от школьника навыков сбора и представления информации, анализа условий конкретной ситуации, оценивания необходимости и достаточности, непротиворечивости имеющихся данных. Такие задачи направлены на овладение умениями осуществлять наглядное моделирование и компьютерный дизайн, проводить аналогии, выстраивать ассоциации. Подбор задач данного уровня связан с возможностью применения цифровых инструментов для моделирования и визуализации случайных испытаний, обработки данных о поведении случайных величин. Такую возможность предоставляет, в частности, среда «1С: Математический конструктор», в которой исследуются не только дискретные стохастические модели, связанные с классическим подходом к определению вероятности, но и непрерывные модели, основанные на геометрической вероятности. В процессе проведения серии испытаний автоматически вычисляются и заносятся в таблицу значения случайных величин или функции от результатов испытаний (рисунок 2). На основе собранных статистических данных можно находить распределения случайных величин – как дискретных, так и непрерывных.



Р и с. 2. Решение задачи ориентировочно-мотивационного уровня в среде «1С: Математический конструктор»

F i g. 2. Solving the problem of the approximate motivational level in the environment "1C: Mathematical Constructor"

В результате анализа формулировок задач о случайных опытах с монетами были выделены изменяемые структурные элементы (фасетные признаки):

$\Phi_1$  – количество монет в случайном эксперименте ( $n$ ),

$\Phi_2$  – характеристика результата серии экспериментов (возможные значения – хотя бы один, ровно один, больше одного и т.д.),

$\Phi_3$  – результат одного эксперимента (возможные значения – орел, цифра).

С учетом выделенных фасетных признаков и базовых (неизменяемых) слов фасетная формула задачи принимает вид:  
*Бросают  $\{\Phi_1\}$  монет. С какой вероятностью выпадет  $\{\Phi_2\}$   $\{\Phi_3\}$ .*

Заменяя в данной формуле одно значение фасетного признака





другим, можно получить новые условия задач:

«Бросают две монеты. С какой вероятностью выпадет ровно одна цифра?»

«Бросают три монеты. С какой вероятностью выпадет хотя бы один орел?»

«Бросают три монеты. С какой вероятностью выпадет орлов выпадет больше?»

«Бросают девять монет. С какой вероятностью орлов выпадет больше?»

2 уровень – *репродуктивный*. Система задач этого уровня направлена на овладение умениями переводить проблемную ситуацию на математический язык, подбирая готовую модель; проводить вероятностно-статистический, графический, математический анализ данных. Для старшеклассников с образно-геометрическим профилем мышления подобраны задачи на исследование случайных величин с применением графов, вершинам которых соответствуют случайные события, а ребрам – вероятности тех или иных исходов.

В результате анализа массива задач по теме «Случайные величины» были выделены следующие фасетные признаки:

$\Phi_1$  – условия проведения эксперимента,

$\Phi_2$  – характеристика события А, наблюдаемого в ходе эксперимента,

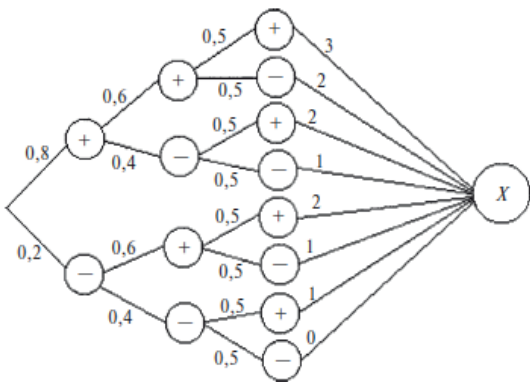
$\Phi_3$  – характеристика вероятностей наступления события А при определенной комбинации условий,

$\Phi_4$  – характеристика исследуемой случайной величины.

Фасетная формула задачи:

Дано  $\{\Phi_1\}$ . Вероятности события  $\{\Phi_2\}$  равны  $\{\Phi_3\}$ . Построить граф распределения и составить закон распределения случайной величины  $\{\Phi_4\}$ .

На рисунке 3 приведен граф решения одной из задач репродуктивного уровня: «Рассматривается работа трех независимо работающих технических устройств. Вероятность нормальной работы первого устройства равна 0,8, второго – 0,6, третьего – 0,5. Построить граф распределения и составить закон распределения случайной величины – числа нормально работающих устройств».



Р и с. 3. Решение задачи репродуктивного уровня с применением графа распределения вероятностей

F i g. 3. Solving the reproductive level problem using a probability distribution graph

3 уровень – *эмпирический*. При решении задач данного уровня школьники учатся выявлять существенные связи и отношения, базовые и вариативные характеристики исследуемого объекта; выявлять противоречия, выдвигать гипотезы. В целом совокупность подобных заданий формирует у старшеклассников способность осуществлять математическое и компьютерное моделирование прикладных задач.

Перечень фасетных признаков, используемых при составлении задач эмпирического уровня:

$\Phi_1$  – характеристика серии экспериментов,

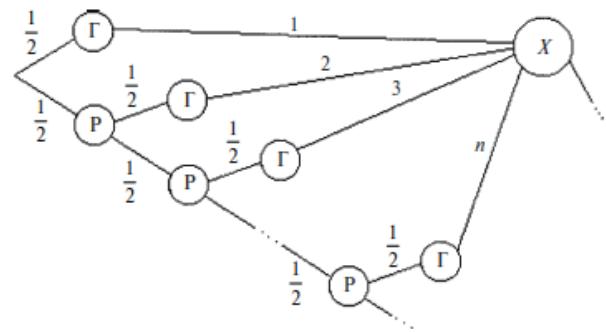
$\Phi_2$  – характеристика случайной величины, наблюдаемой в ходе эксперимента,

$\Phi_3$  – характеристика исследуемого свойства случайной величины.

Фасетная формула задач:

Провести серию экспериментов  $\{\Phi_1\}$ , наблюдая за случайной величиной  $\{\Phi_2\}$ . Построив граф распределения этой случайной величины, сделать вывод о  $\{\Phi_3\}$ .

На рисунке 4 приведен граф решения одной из задач эмпирического уровня: «Провести серию экспериментов с подбрасыванием монеты, наблюдая за числом подбрасываний до появления герба. Построив граф распределения этой случайной величины, сделать вывод о значении суммы  $\sum_{i=1}^n p_i$ ».



Р и с. 4. Решение задачи эмпирического уровня

F i g. 4. Solving an empirical level problem

Используя формулу суммы убывающей геометрической прогрессии, школьники убеждаются, что

$$\sum_{i=1}^{\infty} p_i = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{2}} = 1$$

4 уровень – *теоретический*. Характеризуется выявлением закономерностей, построением индуктивных и дедуктивных рассуждений, установлением внутрпредметных и межпредметных связей, необходимостью грамотного выбора методов решения задач. С этой целью школьникам предлагаются разнообразные задачи-игры с монетами, в которых необходимо проанализировать различные стратегии игроков. Пример одной из таких задач: «Два игрока бросают две монеты сериями по очереди, складывая количество выпавших гербов, за каждый выпавший герб игрок получает одно очко, в любой момент игрок может остановиться и передать ход другому игроку, но если не выпало ни одного герба, то очки серии «сгорают» и ход передается сопернику. Какой стратегии следует придерживаться игроку?»



Решение 1 (стратегия «по числу набранных очков»).

Пусть в данной серии набрано  $n$  очков. Введем случайную величину  $X$  – число очков в серии после следующего броска. Математическое ожидание величины  $X$ :

$$EX = \frac{1}{4} \cdot (n+2) + 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot (n+1) + \frac{1}{4} \cdot 0 = \frac{3}{4} \cdot n + 1$$

Продолжение игры станет невыгодным, если  $EX \leq n$ , то есть  $\frac{3}{4} \cdot n + 1 \leq n, n \geq 4$ .

Следовательно, можно предложить игроку бросать пару монет в серии до появления в сумме 3 или 4 очков и передать ход другому игроку.

Решение 2 (стратегия «по числу сделанных бросков»).

Пусть  $n$  – число бросков, а случайная величина  $X_1$  – число очков при одном бросании.

Закон распределения  $X_1$ :

$X_1$	0	1	2
P	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

$$EX_1 = 0 \cdot \frac{1}{4} + 1 \cdot \frac{1}{2} + 2 \cdot \frac{1}{4} = 1$$

Заметим, что  $E[n \cdot X_1] = n \cdot EX_1 = n$ , то есть  $E[n \cdot X_1]$  является случайной величиной. Составим закон распределения вероятностей для  $E[n \cdot X_1]$ , учитывая, что очки не «сгорят»:

$E[n \cdot X_1]$	$n$	0
P	$\left(\frac{3}{4}\right)^n$	$1 - \left(\frac{3}{4}\right)^n$

Тогда математическое ожидание величины  $E[n \cdot X_1]$ :

$$E[E[n \cdot X_1]] = n \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^n$$

$$E[E[(n+1) \cdot X_1]] = (n+1) \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^{n+1}$$

Продолжение серии бросков будет невыгодным, если

$$E[n \cdot X_1] = n \cdot EX_1 = n$$

Получаем неравенство

$$E[n \cdot X_1] = n \cdot EX_1 = n$$

$$(n+1) \cdot \frac{3}{4} \leq n$$

$$E[n \cdot X_1] = n \cdot EX_1 = n$$

Следует делать не более трех бросков.

5 уровень – творческий. Для обоснования решений задач этого класса учащиеся используют весь арсенал методов современной науки. Происходит формирование умений проводить анализ эффективности стратегий и методов решения, осуществлять модификацию и интеграцию методов исследования, представлять исследуемые процессы и явления в динамике, интерпретировать полученный математический результат.

Построение фасетных формул задач творческого уровня представляет значительную трудность в силу их смысловой специфики и отсутствия алгоритмической основы решения. Тем не менее, в качестве базиса для разработки творческих заданий могут служить формулировки предыдущего уровня, дополненные новым требованием.

Для примера возьмём рассмотренную выше задачу об игре с монетами, в которой теперь потребуется сравнить эффективность двух подходов в определении стратегии игрока – по количеству набранных очков и по количеству подбрасываний в серии. Для этого школьнику нужно представить, что испытания прекращаются при появлении трех очков в серии, и найти математическое ожидание в этом случае:

$$EX = (1+1+1) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + (1+1+2) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} + (1+2) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} + (2+1) \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} + (2+2) \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = \frac{13}{8} = 1,625$$

Далее следует предположить, что испытания прекратятся при появлении по крайней мере четырех очков в серии (рисунок 5). Значение математического ожидания в этом случае:

$$EX = 4 \cdot \frac{1}{16} + 5 \cdot \frac{1}{32} + 4 \cdot \frac{1}{16} + 4 \cdot \frac{1}{16} + 5 \cdot \frac{1}{32} + 4 \cdot \frac{1}{16} + 5 \cdot \frac{1}{32} + 4 \cdot \frac{1}{16} \approx 1,72$$

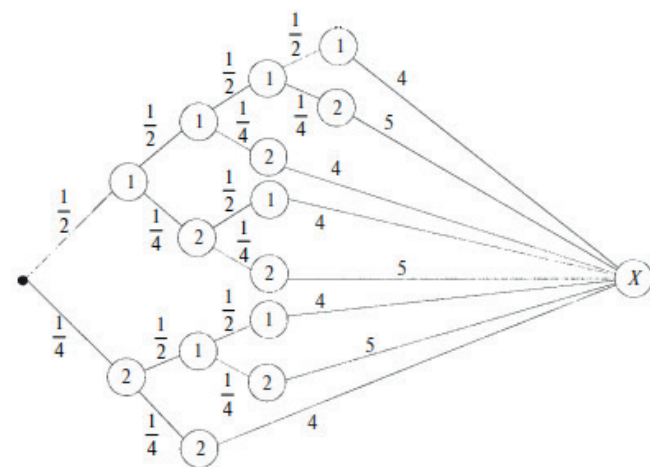


Рис. 5. Вероятностное дерево исходов  
Fig. 5. Probability tree of outcomes

По числу бросков  $E[n \cdot X_1] = n \cdot EX_1 = n$ . Поскольку  $1,72 > 1,625 > 1,26$ , следовательно, более эффективна первая стратегия – по числу набранных очков в серии.

Итак, следуя технологии фасетной классификации, на каждом уровне можно получить многообразие задач, построенных по одной фасетной формуле. Их количество зависит от множества возможных значений каждого фасетного признака и может увеличиваться путем добавления новых значений фасетов к уже обозначенным.

## Заключение

В ходе исследования разработаны технологические и дидактические аспекты проектировании гибридной интеллектуальной системы сопровождения исследовательской деятельности школьников в области математики. Созданная ГИОС представляет собой комплекс программно-аппаратных



средств, обеспечивающих адаптивное управление учебно-познавательной деятельностью обучаемого, в ходе которого с учётом уровня развития исследовательских умений и доминирующего профиля мышления выстраиваются такие параметры учебного процесса, как сложность и глубина изучения предметной области, скорость предоставления материала, тем самым формируется индивидуальная образовательная траектория. Важным преимуществом обучающей системы является ориентация на эффективное развитие личности обучаемого в процессе освоения обобщенных конструктов сложного знания, проявляющееся в росте его научного потенциала, креативности и критичности мышления. Организация деятельности школьников по решению комплекса исследовательских задач в условиях применения ГИОС будет способствовать аккумулированию предметных знаний в единую целостность, развитию интеллектуальной гибкости, операций

мышления, установлению межпредметных связей, развитию способности к теоретическому и эмпирическому обобщению, формированию устойчивой мотивации. Применение фасетной технологии для конструирования базы данных исследовательских задач позволит автоматизировать наполнение многоуровневого комплекса проблемно-ориентированных заданий, обладающего свойствами динамичности и расширяемости, охватывающего все пространство профилей мышления и уровней развития исследовательской деятельности. Тем самым исследование вносит значимый вклад в решение проблемы организационно-методического сопровождения исследовательской деятельности школьников с применением функционала новейших цифровых технологий и эффективных психолого-дидактических решений.

### Список использованных источников

- [1] Минина И. В., Петухова Т. П. Организация проектно-исследовательской деятельности школьника в современных условиях // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 4. С. 1031-1046. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201904.1031-1046>
- [2] Агранович М. Л., Ермачкова Ю. В., Ливенец М. А. Онлайн-обучение в период пандемии COVID-19 и неравенство доступа к образованию // Федерализм. 2020. Т. 25, № 3(99). С. 188-206. doi: <http://dx.doi.org/10.21686/2073-1051-2020-3-188-206>
- [3] Кригер А. Б. Совершенствование учебного процесса на основе использования информационной системы управления обучением // Открытое образование. 2015. № 6(113). С. 60-66. doi: [https://doi.org/10.21686/1818-4243-2015-6\(113-60-66](https://doi.org/10.21686/1818-4243-2015-6(113-60-66)
- [4] Реализация гибридной интеллектуальной обучающей среды производственного типа / П. Д. Басалин, Е. А. Кумагина, Е. А. Неймарк [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14, № 1. С. 256-267. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.256-267>
- [5] Interactive Learning Online at Public Universities: Evidence from a Six-Campus Randomized Trial / W. G. Bowen, M. M. Chingos, K. A. Lack [и др.] // Journal of Policy Analysis and Management. 2014. Vol. 33, issue 1. P. 94-111. doi: <https://doi.org/10.1002/pam.21728>
- [6] Prusty B. G., Russell C. Engaging students in learning threshold concepts in engineering mechanics: adaptive eLearning tutorials // Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Education (ICEE'2011). Belfast, Northern Ireland, UK: University of Ulster, 2011. 10 p. URL: [https://www.ineer.org/Events/ICEE2011/Papers/icee2011\\_submission\\_250.pdf](https://www.ineer.org/Events/ICEE2011/Papers/icee2011_submission_250.pdf) (дата обращения: 27.05.2022).
- [7] Perkins D. Constructivism and troublesome knowledge // Overcoming barriers to student understanding – threshold concepts and troublesome knowledge ; ed. by J. H. F. Meyer, R. Land. Chap. 3. London and New York: Routledge, 2006. P. 33-47. doi: <https://doi.org/10.4324/9780203966273>
- [8] Brusilovsky P., Millán E. User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems // The Adaptive Web. Lecture Notes in Computer Science ; ed. by P. Brusilovsky, A. Kobsa, W. Nejdl. Vol. 4321. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. P. 3-53. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_1)
- [9] Daines J. B., Troka T., Santiago J. M. Improving Performance in Trigonometry and Pre-Calculus by Incorporating Adaptive Learning Technology into Blended Models on Campus // Proceedings of the 23rd Annual ASEE Conference & Exposition. New Orleans, Louisiana: ASEE, 2016. 9 p. doi: <https://doi.org/10.18260/p.25624>
- [10] White G. Adaptive Learning Technology Relationship with Student Learning Outcomes // Journal of Information Technology Education: Research. 2020. Vol. 19. P. 113-130. doi: <https://doi.org/10.28945/4526>
- [11] Дворяткина С. Н., Меренкова В. С., Смирнов Е. И. Диагностика готовности учащихся старших классов к исследовательской деятельности по математике как этап проектирования гибридной интеллектуальной обучающей среды // Перспективы науки и образования. 2021. № 6(54). С. 192-210. doi: <https://doi.org/10.32744/pse.2021.6.13>
- [12] Nirmalakhandan N. Computerized adaptive tutorials to improve and assess problem-solving skills // Computers & Education. 2007. Vol. 49, issue 4. P. 1321-1329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.02.007>
- [13] Jonassen D. H. Toward a Design Theory of Problem Solving // Educational Technology Research and Development. 2000. Vol. 48, issue 4. P. 63-85. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02300500>
- [14] Подьяков А. Н. Психология обучения в условиях новизны, сложности, неопределенности // Психологические исследования. 2015. Т. 8, № 40. С. 6. doi: <https://doi.org/10.54359/ps.v8i40.558>
- [15] Garcia P., Amandi A., Schiaffino S., Campo M. Evaluating Bayesian Networks' Precision For Detecting Students' Learning Styles // Computers & Education. 2007. Vol. 49, issue 3. P. 794-808. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.017>



- [16] Arroyo I., Woolf B. P., Burelson W. A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2014. Vol. 24. P. 387-426. doi: <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0023-y>
- [17] The Affective Tutoring System / M. B. Ammar [и др.] // Expert Systems with Applications. 2010. Vol. 37. P. 3013-3022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.031>
- [18] D'Mello S. K., Graesser A. C. AutoTutor and affective AutoTutor: Learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back // ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems. 2012. Vol. 2, issue 4. P. 23. doi: <https://doi.org/10.1145/2395123.2395128>
- [19] The Opportunities and Limitations of Scaling Up Sensor-Free Affect Detection / M. Wixon [и др.] // Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2014). EDM, 2014. P. 145-152. URL: [https://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/long%20papers/145\\_EDM-2014-Full.pdf](https://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/long%20papers/145_EDM-2014-Full.pdf) (дата обращения: 27.05.2022).
- [20] Leontidis M., Halatsis C. Integrating Learning Styles and Personality Traits into an Affective Model to Support Learner's Learning // Advances in Web Based Learning – ICWL 2009. ICWL 2009. Lecture Notes in Computer Science ; ed. by M. Spaniol, Q. Li, R. Klamma, R. W. H. Lau. Vol. 5686. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. P. 225-234. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03426-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03426-8_29)
- [21] Robison J., McQuiggan S., Lester J. Evaluating the Consequences of Affective Feedback in Intelligent Tutoring Systems // 2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops. Amsterdam, Netherlands: IEEE Computer Society, 2009. P. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/ACII.2009.5349555>
- [22] Metacognitive Practice Makes Perfect: Improving Students' Self-Assessment Skills with an Intelligent Tutoring System / I. Roll [и др.] // Artificial Intelligence in Education. AIED 2011. Lecture Notes in Computer Science ; ed. by G. Biswas, S. Bull, J. Kay, A. Mitrovic. Vol. 6738. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. P. 288-295. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9_38)
- [23] Latham A., Crockett K., Mclean D. An adaptation algorithm for an intelligent natural language tutoring system // Computers & Education. 2014. Vol. 71. P. 97-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.014>
- [24] Hung Y. H., Chang R., Lin C. Hybrid learning style identification and developing adaptive problem-solving learning activities // Computers in Human Behavior. 2016. Vol. 55, issue A. P. 552-561. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.004>
- [25] Slavic A. Faceted classification: management and use // Axiomathes. 2008. Vol. 18, issue 2. P. 257-71. doi: <https://doi.org/10.1007/s10516-007-9030-z>
- [26] Дворяткина С. Н., Жук Л. В. Организационно-методическое обеспечение развития исследовательской деятельности школьников в гибридной интеллектуальной образовательной среде // Ярославский педагогический вестник. 2021. № 3(120). С. 36-45. doi: <https://doi.org/10.20323/1813-145X-2021-3-120-36-45>

Поступила 27.05.2022; одобрена после рецензирования 04.07.2022; принята к публикации 11.07.2022.

#### Об авторах:

**Дворяткина Светлана Николаевна**, проректор по научной и инновационной деятельности, профессор кафедры математики и методики её преподавания, Институт математики, естествознания и техники, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина» (399770, Российская Федерация, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28), доктор педагогических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7823-7751>**, [sobdvor@yelets.lipetsk.ru](mailto:sobdvor@yelets.lipetsk.ru)

**Жук Лариса Викторовна**, доцент кафедры математики и методики её преподавания, Институт математики, естествознания и техники, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина» (399770, Российская Федерация, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28), кандидат педагогических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5054-882X>**, [krasnikovalarisa@yandex.ru](mailto:krasnikovalarisa@yandex.ru)

**Щербатых Сергей Викторович**, и.о. ректора, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина» (399770, Российская Федерация, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28), доктор педагогических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4870-8257>**, [shcherserg@mail.ru](mailto:shcherserg@mail.ru)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## References

- [1] Minina I.V., Petukhova T.P. Organization of Project and Research Activity of a Student in Modern Conditions. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(4):1031-1046. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201904.1031-1046>
- [2] Agranovich M.L., Ermachkova Yu.V., Livenets M.A. Online Learning During the COVID-19 Pandemic and Inequality of Access to Education. *Federalism* = Federalizm. 2020; 25(3):188-206. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <http://dx.doi.org/10.21686/2073-1051-2020-3-188-206>
- [3] Kriger A.B. Improving the educational process based on the use of information learning management systems. *Otkrytoe obrazovanie* = Open Education. 2015; (6):60-66. (In Russ., abstract in Eng.) doi: [https://doi.org/10.21686/1818-4243-2015-6\(113-60-66](https://doi.org/10.21686/1818-4243-2015-6(113-60-66)





- [4] Basalin P.D., Kumagina E.A., Neumark E.A., Timofeev A.E., Fomina I.A., Chernyshova N.N. Rule-based hybrid intelligent learning environment implementation. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2018; 14(1):256-267. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.256-267>
- [5] Bowen W.G., Chingos M.M., Lack K.A., Nygren T.I. Interactive Learning Online at Public Universities: Evidence from a Six-Campus Randomized Trial. *Journal of Policy Analysis and Management*. 2014; 33(1):94-111. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1002/pam.21728>
- [6] Prusty B.G., Russell C. Engaging students in learning threshold concepts in engineering mechanics: adaptive eLearning tutorials. *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Education (ICEE'2011)*. University of Ulster, Belfast, Northern Ireland, UK; 2011. 10 p. Available at: [https://www.ineer.org/Events/ICEE2011/Papers/icee2011\\_submission\\_250.pdf](https://www.ineer.org/Events/ICEE2011/Papers/icee2011_submission_250.pdf) (accessed 27.05.2022). (In Eng.)
- [7] Perkins D. Constructivism and troublesome knowledge. In: Meyer J. H. F., Land R. (eds.) *Overcoming barriers to student understanding – threshold concepts and troublesome knowledge*. Chap. 3. Routledge, London and New York; 2006. p. 33-47. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.4324/9780203966273>
- [8] Brusilovsky P., Millán E. User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems. In: Brusilovsky P., Kobsa A., Nejd W. (eds.) *The Adaptive Web. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4321. Springer, Berlin, Heidelberg; 2007. p. 3-53. (In Eng.) doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_1)
- [9] Daines J.B., Troka T., Santiago J.M. Improving Performance in Trigonometry and Pre-Calculus by Incorporating Adaptive Learning Technology into Blended Models on Campus. *Proceedings of the 23rd Annual ASEE Conference & Exposition*. ASEE, New Orleans, Louisiana; 2016. 9 p. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.18260/p.25624>
- [10] White G. Adaptive Learning Technology Relationship with Student Learning Outcomes. *Journal of Information Technology Education: Research*. 2020; 19:113-130. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.28945/4526>
- [11] Dvoryatkina S.N., Merenkova V.S., Smirnov E.I. Diagnostics of psychological readiness of high school students for research activities in mathematics in the design context of a hybrid intellectual learning environment. *Perspektivy nauki i obrazovania* = Perspectives of Science and Education. 2021; 54(6):192-210. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.32744/pse.2021.6.13>
- [12] Nirmalakhandan N. Computerized adaptive tutorials to improve and assess problem-solving skills. *Computers & Education*. 2007; 49(4):1321-1329. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.02.007>
- [13] Jonassen D.H. Toward a Design Theory of Problem Solving. *Educational Technology Research and Development*. 2000; 48(4):63-85. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/BF02300500>
- [14] Poddiakov A. Psychology of teaching/learning under conditions of novelty, complexity and uncertainty. *Psychological Studies*. 2015; 8(40):6. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.54359/ps.v8i40.558>
- [15] Garcia P., Amandi A., Schiaffino S., Campo M. Evaluating Bayesian Networks' Precision For Detecting Students' Learning Styles. *Computers & Education*. 2007; 49(3):794-808. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.017>
- [16] Arroyo I., Woolf B.P., Burelson W. A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2014; 24:387-426. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0023-y>
- [17] Ammar M.B., Neji M., Alimi A.M., Gouarderes G. The Affective Tutoring System. *Expert Systems with Applications*. 2010; 37:3013-3022. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.031>
- [18] D'Mello S.K., Graesser A.C. AutoTutor and affective AutoTutor: Learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*. 2012; 2(4):23. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1145/2395123.2395128>
- [19] Wixon M., Arroyo I., Muldner K., Burelson W., Lozano C., Woolf B.P. The Opportunities and Limitations of Scaling Up Sensor-Free Affect Detection. *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2014)*. EDM; 2014. p. 145-152. Available at: [https://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/long%20papers/145\\_EDM-2014-Full.pdf](https://educationaldatamining.org/EDM2014/uploads/procs2014/long%20papers/145_EDM-2014-Full.pdf) (accessed 27.05.2022). (In Eng.)
- [20] Leontidis M., Halatsis C. Integrating Learning Styles and Personality Traits into an Affective Model to Support Learner's Learning. In: Spaniol M., Li Q., Klamma R., Lau R.W.H. (eds.) *Advances in Web Based Learning – ICWL 2009. ICWL 2009. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 5686. Springer, Berlin, Heidelberg; 2009. p. 225-234. (In Eng.) doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03426-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03426-8_29)
- [21] Robison J., McQuiggan S., Lester J. Evaluating the Consequences of Affective Feedback in Intelligent Tutoring Systems. *2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops*. IEEE Computer Society, Amsterdam, Netherlands; 2009. p. 1-6. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1109/AICL.2009.5349555>
- [22] Roll I., Alevan V., Koedinger K.R., McLaren B.M., Koedinger K.R. Metacognitive Practice Makes Perfect: Improving Students' Self-Assessment Skills with an Intelligent Tutoring System. In: Biswas G., Bull S., Kay J., Mitrovic A. (eds.) *Artificial Intelligence in Education. AIED 2011. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 6738. Springer, Berlin, Heidelberg; 2011. p. 288-295. (In Eng.) doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9_38)
- [23] Latham A., Crockett K., Mclean D. An adaptation algorithm for an intelligent natural language tutoring system. *Computers & Education*. 2014; 71:97-110. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.014>
- [24] Hung Y.H., Chang R., Lin C. Hybrid learning style identification and developing adaptive problem-solving learning activities. *Computers in Human Behavior*. 2016; 55(A):552-561. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.004>



- [25] Slavic A. Faceted classification: management and use. *Axiomathes*. 2008; 18(2):257-71. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s10516-007-9030-z>
- [26] Dvoryatkina S.N., Zhuk L.V. Organizational and methodological support for the development of research activities of schoolchildren in hybrid intellectual educational environment. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2021; (3):36-45. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.20323/1813-145X-2021-3-120-36-45>

*Submitted 27.05.2022; approved after reviewing 04.07.2022; accepted for publication 11.07.2022.*

#### About the authors:

**Svetlana N. Dvoryatkina**, Vice-Rector for Science and Innovation, Professor of the Department of Mathematics and Methods of its Teaching, Institute of Mathematics, Natural Sciences and Technology, Bunin Yelets State University (28 Kommunarov St., Yelets 399770, Russian Federation), Dr.Sci. (Ped.), Associate Professor; **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7823-7751>**, [sobdvor@yelets.lipetsk.ru](mailto:sobdvor@yelets.lipetsk.ru)

**Larisa V. Zhuk**, Associate Professor of the Department of Mathematics and Methods of its Teaching, Institute of Mathematics, Natural Sciences and Technology, Bunin Yelets State University (28 Kommunarov St., Yelets 399770, Russian Federation), Cand.Sci. (Ped.), Associate Professor; **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5054-882X>**, [krasnikovalarisa@yandex.ru](mailto:krasnikovalarisa@yandex.ru)

**Sergey V. Shcherbatykh**, Rector, Bunin Yelets State University (28 Kommunarov St., Yelets 399770, Russian Federation), Dr.Sci. (Ped.), Professor; **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4870-8257>**, [shcherserg@mail.ru](mailto:shcherserg@mail.ru)

*All authors have read and approved the final manuscript.*

