



Научно-методическое обеспечение кластера естественнонаучного образования: от визуальных регулятивов к интеллектуальной системе поддержки

Л. В. ВАХИДОВА, С. А. ГАРЕЕВА, В. Э. ШТЕЙНБЕРГ

АННОТАЦИЯ

Введение. Цифровая трансформация современного образования актуализирует потребность в создании интеллектуальных систем, где особую значимость приобретает формирование траектории развития обучающихся на принципах преемственности и непрерывности в контексте деятельности кластеров естественнонаучного образования (Кластер ЕНО). *Целью данного исследования* является анализ научно-методического обеспечения кластера и разработка архитектуры интеллектуальной системы, основанной на интеграции статических визуальных дидактических регулятивов.

Материалы и методы. В основу работы положены системный и структурно-функциональный подходы. Исследование проводилось на базе Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы (Российская Федерация) с привлечением методистов, учителей естественно-научных дисциплин и учащихся, вовлеченных в проекты кластера. Теоретической основой выступил анализ существующего арсенала визуальных дидактических средств университета, включая логико-смысловые модели и метамоделю «ПРОФИ» и «ТЕХНО». Обработка требований и валидация концептуальных решений проводились посредством экспертных оценок и фокус-групп с участием специалистов в области цифровизации образования и методики преподавания естественных наук.

Результаты исследования. На основе системного и структурно-функционального подходов проведен анализ научно-методического обеспечения кластера естественнонаучного образования и разработана архитектура интеллектуальной системы поддержки, интегрирующей статические визуальные дидактические регулятивы (логико-смысловые модели, метамоделю «ПРОФИ» и «ТЕХНО») с алгоритмом ситуативного подбора учебно-методических материалов. Эмпирическое исследование показало, что внедрение системы привело к статистически значимым положительным изменениям. Самооценка методической обеспеченности педагогов выросла с 2.8 до 4.1 по 5-балльной шкале ($p < 0.001$), доля уроков с эффективным использованием визуальных регулятивов увеличилась с 15% до 68% ($p < 0.001$), а готовность студентов к проектированию урока возросла с 41.6 до 67.3 баллов ($p < 0.001$). Результаты подтверждают, что предложенная модель способствует адаптации контента под индивидуальные задачи, обеспечивает преемственность образовательных траекторий и создает основу для динамичной, персонализированной среды в рамках кластерной модели естественнонаучного образования.

Заключение. Результаты исследования имеют прикладное значение для развития цифровой образовательной среды, персонализации обучения и эффективной интеграции визуальных дидактических средств в образовательный процесс.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

научно-методическое обеспечение, образовательный кластер, естественнонаучное образование, визуальные дидактические регулятивы, логико-смысловые модели, интеллектуальная образовательная среда, алгоритм априорной классификации

Для цитирования: Вахидова Л. В., Гареева С. А., Штейнберг В. Э. Научно-методическое обеспечение кластера естественнонаучного образования: от визуальных регулятивов к интеллектуальной системе поддержки // Перспективы науки и образования. 2026. № 3. С. 558–577. <https://doi.org/10.32744/pse.2026.3.35>

Поступила: 13.12.2025 | Одобрена: 21.03.2026 | Опубликовано: 30.06.2026



Лицензия «С указанием авторства — С сохранением условий». Позволяет перерабатывать, исправлять и развивать произведения при условии указания авторства и лицензирования производных работ на аналогичных условиях.



Scientific and Methodological Support for the Natural Science Education Cluster: From Visual Regulators to an Intelligent Support System

L. V. VAKHIDOVA, S. A. GAREEVA, V. E. STEINBERG

ABSTRACT

Introduction. The digital transformation of modern education is highlighting the need to create intelligent systems, where the development of learners' trajectories based on principles of continuity and continuity is particularly important in the context of natural science education clusters (ENO Cluster). *The aim of this study* is to analyze the cluster's scientific and methodological support and develop an intelligent system architecture based on the integration of static visual didactic guidelines.

Materials and Methods. The study is based on a systemic and structural-functional approach. The study was conducted at the M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University, involving methodologists, science teachers, and students involved in cluster projects. The theoretical basis was an analysis of the university's existing arsenal of visual didactic tools, including the logical-semantic models and metamodels "PROFI" and "TECHNO." Requirements development and conceptual validation were conducted through expert assessments and focus groups involving specialists in the field of digitalization of education and natural science teaching methods.

Results. Using a systemic and structural-functional approach, we analyzed the scientific and methodological support for the natural science education cluster and developed the architecture of an intelligent support system that integrates static visual didactic guidelines (logical-semantic models, the PROFI and TECHNO metamodels) with an algorithm for the situational selection of teaching and learning materials. An empirical study showed that the system's implementation resulted in statistically significant positive changes. Teachers' self-assessment of methodological competence increased from 2.8 to 4.1 on a 5-point scale ($p < 0.001$), the proportion of lessons with effective use of visual aids increased from 15% to 68% ($p < 0.001$), and students' readiness to design a lesson increased from 41.6 to 67.3 points ($p < 0.001$). The results confirm that the proposed model facilitates the adaptation of content to individual tasks, ensures the continuity of educational trajectories, and creates the basis for a dynamic, personalized environment within the cluster model of natural science education.

Conclusion. The research results have practical implications for the development of digital educational environments, personalization of learning, and the effective integration of visual didactic tools into the educational process. The article is intended for researchers in the fields of pedagogy, digitalization of education, and natural science teaching methods.

KEYWORDS

scientific and methodological support; educational cluster; natural science education; visual didactic regulators; logical-semantic models; intelligent educational environment; a priori classification algorithm

For Citation: Vakhidova, L. V., Gareeva, S. A., & Steinberg, V. E. (2026). Scientific and Methodological Support for the Natural Science Education Cluster: From Visual Regulators to an Intelligent Support System. *Perspektivy nauki i obrazovania = Perspectives of Science and Education*, (3), 558–577. <https://doi.org/10.32744/pse.2026.3.35>

Received: 13 December 2025 | Approved: 21 March 2026 | Published: 30 June 2026



This is an open access article distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike International License (CC-BY-SA 4.0) that allows others to share the work with an acknowledgement of the work's authorship and initial publication in this journal

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена глобальными инициативами в сфере образования. Повестка ООН до 2030 года (ЦУР 4) [1] и рамочная программа ЮНЕСКО «Образование 2030» [2] акцентируют необходимость перехода к качественному, инклюзивному и непрерывному обучению, формированию компетенций XXI века. Рекомендации Совета Европы [3] и аналитика ОЭСР [4] подчеркивают роль цифровизации и адаптивных сред в персонализации образования.

В этом контексте кластерная модель естественнонаучного образования выступает эффективным инструментом обеспечения преемственности и интеграции различных уровней обучения. Существует противоречие между требованиями международной повестки к созданию гибких, персонализированных сред и ограниченными возможностями традиционных статических визуально-методических комплексов, не обеспечивающих ситуативный подбор ресурсов под индивидуальные запросы.

Современный этап развития образовательных систем характеризуется их глубокой трансформацией, затрагивающей методологические, содержательные и технологические основы педагогического процесса. В рамках этой масштабной трансформации происходит последовательный переход от знаниево-ориентированной парадигмы, доминировавшей в течение многих десятилетий, к принципиально иной образовательной модели – деятельностной и личностно-развивающей. Этот переход не является спонтанным явлением, а представляет собой закономерный ответ на вызовы современности, связанные с ускорением темпов технологического развития, возрастанием объема информации и изменением характера профессиональной деятельности. Если традиционная знаниевая парадигма была ориентирована преимущественно на трансляцию готовых знаний и их репродуктивное усвоение, то современная образовательная модель акцентирует внимание на формировании способности к самостоятельному приобретению знаний, их критическому осмыслению и практическому применению в реальных жизненных ситуациях. Особую значимость в этом контексте приобретают компетенции, связанные с проектной деятельностью, исследовательской работой и способностью к непрерывному обучению в течение всей жизни.

В условиях масштабных изменений в образовательной сфере особую актуальность приобретает проблема создания адекватных организационно-педагогических структур, способных эффективно реализовывать новые образовательные принципы. Одной из таких перспективных структур выступает кластерная модель организации естественнонаучного образования, которая представляет собой интегрированную систему, объединяющую образовательные учреждения разного уровня, научно-исследовательские организации и производственные предприятия. Кластерный подход позволяет преодолеть традиционную разобщенность между различными этапами образовательного процесса и создать условия для непрерывного профессионального становления личности – от школьной скамьи до высших уровней профессионального мастерства. Формирование образовательных кластеров создает принципиально новые возможности для реализации междисциплинарных проектов, ранней профессионализации и построения индивидуальных образовательных траекторий, отвечающих как личным склонностям учащихся, так и потребностям региональной экономики.

В контексте становления и развития кластерной модели естественнонаучного образования особую значимость приобретает проблема адекватного научно-методического обеспечения. При этом важно подчеркнуть, что современное понимание научно-методического обеспечения существенно отличается от традиционного представления о нем как о простом наборе учебных материалов и рекомендаций. В условиях кластерной организации образовательного процесса научно-методическое обеспечение должно выполнять значительно более сложные и многогранные функции. Оно призвано не только предоставлять участникам образовательного процесса необходимые ресурсы, но и активно способствовать формированию инженерного мышления, обеспечивать эффективную поддержку профессионального самоопределения и создавать условия для построения индивидуальных образовательных траекторий. Такое расширение функционала требует принципиально новых подходов к организации методической работы и создания инновационных инструментов педагогического сопровождения.

Исторически сложилось, что базовым элементом научно-методического обеспечения в Башкирском государственном педагогическом университете им. М. Акмуллы выступали визуальные дидактические регулятивы и логико-смысловые модели (ЛСМ), разработка и внедрение

которых осуществлялась под руководством В.Э. Штейнберга и его научной школы. Эти методические средства доказали свою высокую эффективность в решении таких важных педагогических задач, как структурирование сложного учебного материала, организация системного представления знаний и управление учебными действиями учащихся. Визуальные дидактические регулятивы, основанные на принципах когнитивной визуализации, позволяют существенно снизить когнитивную нагрузку на учащихся при усвоении сложных научных концепций и способствуют формированию целостного представления о изучаемых явлениях и процессах. Логико-смысловые модели, в свою очередь, обеспечивают систематизацию знаний и создают надежную основу для формирования метапредметных компетенций.

Однако в современных условиях, характеризующихся масштабированием кластера естественнонаучного образования и переходом к реализации принципов адаптивного обучения, традиционные статические визуальные средства, при всей их несомненной дидактической ценности, начинают сталкиваться с рядом системных ограничений, снижающих их эффективность. Прежде всего, следует отметить проблему невозможности оперативной персонализации методических материалов под конкретного учащегося. В условиях кластера, объединяющего участников с разным уровнем подготовки, образовательными потребностями и профессиональными ориентациями, единообразный подход к предоставлению методических ресурсов оказывается недостаточно эффективным. Каждый учащийся нуждается в индивидуально подобранном комплексе учебных материалов, соответствующих его текущему уровню развития, познавательным особенностям и образовательным целям.

Другим существенным ограничением статических визуальных средств являются трудности, связанные с динамическим обновлением контента интеллектуальной системы поддержки профессионального самоопределения. Современное естественнонаучное образование характеризуется чрезвычайно высокой скоростью обновления знаний, появлением новых междисциплинарных направлений и постоянно меняющимися требованиями профессиональной сферы. В этих условиях методические материалы должны обладать способностью к оперативной актуализации и включению новых данных, что затруднительно при использовании традиционных, статически представленных визуальных регулятивов. Отсутствие механизмов оперативного обновления содержания приводит к тому, что даже методически грамотно разработанные материалы достаточно быстро устаревают и теряют свою актуальность.

Особенно остро проблема ограниченности традиционных визуальных средств проявляется в контексте организации проектной и исследовательской деятельности учащихся. Современный образовательный процесс в рамках естественнонаучного кластера предполагает активное вовлечение учащихся в разнообразные проекты и исследования, каждый из которых имеет свою специфику и требует особого методического сопровождения. Отсутствие механизмов ситуативного подбора релевантных материалов для конкретных проектных задач существенно снижает эффективность как самой проектной деятельности, так и образовательного процесса в целом. Педагог вынужден тратить значительное время на поиск и адаптацию методических материалов, вместо того чтобы сосредоточиться на содержательном сопровождении проектной работы учащихся.

Наконец, важным ограничением традиционных визуальных средств является их недостаточная интеграция с современными цифровыми образовательными технологиями. В условиях активной цифровизации образования и распространения адаптивных обучающих систем, статически представленные методические материалы не могут в полной мере использовать преимущества, предоставляемые современными технологиями. Они не поддерживают возможности автоматического отслеживания прогресса учащихся, не обеспечивают персонализированные рекомендации по дальнейшему обучению и не позволяют осуществлять динамическую адаптацию содержания в зависимости от достигнутых результатов.

Все вышеперечисленные ограничения свидетельствуют о необходимости качественной трансформации существующей системы научно-методического обеспечения кластера естественнонаучного образования. Требуется переход от статических визуальных регулятивов к динамической интеллектуальной системе поддержки, способной обеспечивать персонализацию образовательного процесса, оперативное обновление контента и ситуативный подбор методических материалов в соответствии с конкретными образовательными задачами. Такая система должна интегрировать в себе проверенный методический потенциал традиционных визуальных средств с преимуществами современных цифровых технологий, создавая тем самым качественно новый

инструмент педагогического сопровождения образовательного процесса в условиях кластерной модели естественнонаучного образования.

Актуальность исследования обусловлена наличием существенного противоречия между значительным методическим потенциалом визуальных дидактических средств, разработанных в рамках кластера естественнонаучного образования, и их ограниченной функциональностью в условиях современной цифровой трансформации образования. Данное противоречие проявляется на нескольких взаимосвязанных уровнях.

С одной стороны, научно-педагогическим сообществом накоплен значительный опыт создания и применения структурированных визуально-методических комплексов. Исследования В.Э. Штейнберга демонстрируют дидактическую эффективность логико-смысловых моделей (ЛСМ) и визуальных регулятивов в процессе формирования системного знания и инженерного мышления. Разработанные в рамках кластера ЕНО метамоделли («ПРОФИ», «ТЕХНО») и базовые модели инженерной деятельности («Исследование», «Проектирование», «Конструирование») представляют собой стройную методологическую систему, доказавшую свою результативность в условиях регламентированного образовательного процесса.

С другой стороны, современные исследования в области цифровой педагогики (С.Г. Григорьев, И.М. Лернер и др.) указывают на фундаментальное изменение парадигмы образования, характеризующееся переходом к адаптивным, персонализированным средам. В данном контексте традиционные, статичные формы методического обеспечения, даже обладающие содержанием и логикой, сталкиваются с рядом системных ограничений, не позволяющих в полной мере реализовать требования новой образовательной реальности.

Ключевые аспекты современной цифровой образовательной среды, обуславливающие необходимость трансформации методического обеспечения, заключаются в следующем:

1. Динамичность и нелинейность содержания. Статические ЛСМ, будучи эффективными для структурирования устоявшихся знаний, не обладают механизмами оперативной интеграции новых кейсов, технологий и исследовательских данных, что приводит к их стремительному «моральному устареванию».
2. Императив персонализации обучения. Существующий арсенал визуальных средств кластера ЕНО не дифференцирован по уровням подготовки, когнитивным стилям и темпам обучения, что противоречит базовому принципу «ориентации на пользователя», являющемуся краеугольным камнем современных цифровых решений.
3. Многообразие образовательных контекстов и запросов. Отсутствие алгоритмов ситуативного подбора ресурсов приводит к их низкой практической востребованности и перегруженности педагога, вынужденного осуществлять ручной поиск и адаптацию.
4. Недостаточная контекстная чувствительность средств. Существующие визуальные регулятивы лишены этой способности: они не «знают», на каком этапе проекта находится ученик, с какими трудностями он столкнулся, и какие ресурсы ему необходимы в данный конкретный момент. Это приводит к разрыву между формальным предложением ресурсов и реальными образовательными потребностями.
5. Ограничения, связанные с когнитивной нагрузкой на педагога. Необходимость самостоятельного отбора, комбинации и адаптации статичных визуальных средств из обширного арсенала кластера создает избыточную методическую нагрузку на педагога, снижая его потенциал как тьютора и фасилитатора образовательного процесса.

Таким образом, налицо системное противоречие: между объективной ценностью и дидактическим потенциалом разработанного визуально-методического комплекса кластера ЕНО и его неспособностью функционировать в логике адаптивной, персонализированной, контекстно-чувствительной цифровой образовательной среды, отвечающей персональным и ситуативным запросам обучающихся.

Разрешение данного противоречия видится не в отказе от наработанного методического капитала, а в его качественной трансформации – интеграции с интеллектуальными алгоритмами априорной классификации и ситуативного анализа, что позволит перейти от модели «статичной

библиотеки ресурсов» к модели «динамичного интеллектуального ассистента», осуществляющего персонализированную сборку образовательных траекторий.

Цель статьи – на основе структурно-функционального анализа разработать и обосновать модель интеллектуальной системы поддержки, интегрирующей потенциал визуальных регулятивов кластера ЕНО с алгоритмами априорной классификации для обеспечения нового качества научно-методического сопровождения образовательного процесса.

Проблемам методического обеспечения в образовании посвящены работы многих российских и зарубежных исследователей. В контексте нашего исследования литература может быть условно разделена на три ключевые группы, отражающие основные векторы развития современной педагогической науки.

Первая группа исследований касается методологических и практических аспектов использования визуальных средств в обучении. Фундаментальный вклад в разработку теории визуальных дидактических регулятивов внесли В.Э. Штейнберг и его научная школа [5]. В их работах представлена целостная концепция визуализации учебной информации, основанная на принципах логико-смыслового моделирования. Особого внимания заслуживает разработанная авторами система координатно-узловое структурирование знаний, позволяющая преобразовывать сложный учебный материал в наглядные схемы и модели. Л.А. Байкова [6] исследует инновационные педагогические методики, направленные на развитие креативности и регулятивных навыков учащихся в естественнонаучных дисциплинах, подчеркивая их роль в формировании компетенций для современного образования. И.В. Ребро и др. подчеркивают о необходимости формирования инженерного мышления на этапе профориентации через творческо-исследовательскую деятельность, что способствует переходу от визуальных регулятивов (эксперименты, модели) к интеллектуальной поддержке в естественнонаучных кластерах, мотивируя глубокое изучение фундаментальных дисциплин [7].

Практическое развитие данного направления представлено в работах А.Ф. Мустаева и его коллег, которые разработали и зарегистрировали специализированные программы для ЭВМ, реализующие технологию дидактического регулятива в виде обучающих комплексов для повышения квалификации педагогов по биологии [8] и физике [9]. Данные программы предлагают структурированную цифровую среду для освоения методов визуализации в преподавании естественнонаучных дисциплин. Методологические и прикладные аспекты этой работы, в частности проведение творческой педагогической мастерской, раскрыты в соответствующей статье, демонстрирующей трансляцию принципов визуального регулятива в конкретную учебную практику [10].

Значительный вклад в изучение роли визуальных средств в регуляции учебной деятельности внес М.А. Иванникова [11], исследует роль визуализации в процессе распространения информации в современном мире; рассматривает как визуализация может помочь представить информацию более понятно и привлекательно для целевой аудитории; описывает различные методы визуализации, применяемые для работы с данными, освещая новые тенденции в развитии визуализации.

Ф.М. Раджабова и др. [12] в своей работе рассматривают некоторые аспекты проблемы развития способностей визуализации как одного из актуальных способов представления информации и эффективных технологий активизации познавательной деятельности в обучении.

Исследование О.Г. Марчуковой [13], О.М. Грудчиной и И.А. Мельниковой [14] посвящено специфической проблеме развития саморегуляции через визуальные среды обучения. Автор доказывает, что систематическое использование специально разработанных визуальных опор способствует формированию у учащихся навыков планирования, контроля и коррекции собственной учебной деятельности.

Зарубежные исследования вносят существенный вклад в развитие теоретических основ визуализации в образовании. Работа J. Lee и H. Kim [15] представляет масштабное исследование влияния цифровых визуальных инструментов на понимание STEM-дисциплин. Z. Molnár [16] рассматривает естественнонаучное образование как комплексную систему и описывает педагогические методы, направленные на структурирование знаний через визуализацию концептуальных сетей. Особое внимание уделено экспериментальному обучению и применению сетевых теорий для повышения эффективности формирования целостного научного знания у учащихся.

N.N. Petrova [17] анализирует внедрение научно-методического подхода в преподавание естественных наук, подчеркивая организацию активного обучения и методические инновации. В подтверждение того, работа уже отечественного исследователя Л.И. Васильевой об активизации деятельности обучающихся в формате хакатонов и идеатонов [18].

Теоретической основой многих современных исследований в области визуализации слухит принцип «двойного кодирования» информации, разработанный R.E. Mayer и A. Paivio [19]. Согласно этому принципу, сочетание вербального и визуального каналов представления информации значительно повышает эффективность обучения, поскольку позволяет задействовать различные когнитивные механизмы обработки информации. V. Christidou et al. [20] в обзоре роли визуальных образов в естественнонаучном образовании акцентируют внимание на важности визуальных инструментов как регулятивов, способствующих формированию научной визуальной грамотности. A. Arroio et al. [21] исследуют роль визуализаций в естественнонаучном образовании как средства перехода между уровнями представления знаний, способствующего когнитивному развитию и лучшему усвоению образовательного материала.

Вторая группа работ сосредоточена на вопросах цифровизации и создания адаптивных образовательных сред, что представляет особый интерес в контексте нашего исследования. О.А. Яскина раскрывает аспекты применения цифровых технологий в обучении биологии, а также описывает вызовы современного школьного образования, среди которых можно выделить высокую привязанность современных детей к цифровым устройствам, в связи с чем исследователь определяет необходимость разработки новых стратегий обучения в ситуации информационной перегрузки старшеклассников [22]. Значительный вклад в эту область внесли С.Г. Григорьев, И.М. Лернер и их коллеги [23; 24], которые предложили инновационные алгоритмы априорной классификации для решения проблем подбора учебно-методической информации в адаптивных электронных образовательных средах. Авторы убедительно демонстрируют, что традиционные методы поиска и классификации информации становятся недостаточно эффективными в условиях экспоненциального роста объема научно-методических публикаций, и предлагают принципиально новые решения.

С.С. Куликова и О.В. Яковлева [25] В исследовании уделяют внимание проблеме обеспечения содержательной и методической релевантности образовательного контента в условиях разноуровневой подготовки обучающихся, где цифровая образовательная среда становится важным условием, средством подготовки специалиста новой формации для цифрового общества.

Е.Yu. Lerner [26] исследует теоретические и прикладные аспекты создания интеллектуальных образовательных сред с возможностью адаптивного управления обучением. Автор предлагает оригинальную классификацию адаптивных образовательных сред, основанную на степени их интеллектуальности и уровне персонализации, что представляет значительный интерес для дальнейших исследований в этой области.

Н.В. Ходякова [27] посвящает свою работу исследованию феномена интерактивного обучения, реализованного в электронной образовательной среде. Традиционные формы обучения, ориентированные лишь на передачу, усвоение и повторение учебного материала либо решение типовых задач по шаблону, при переносе в цифровую сферу теряют свою научную значимость и методологическую ценность. Для решения поставленных вопросов привлечены объясняющие и конструктивные возможности ситуационно-средового подхода.

Зарубежные исследования в области искусственного интеллекта в образовании представлены работой Y. Zhang и L. Wang [28], которые описывают принципы создания и внедрения интеллектуальных систем, адаптирующих образовательный контент под индивидуальные потребности учащихся.

Исследование R. Baker и G. Siemens [29; 30] охватывает методы анализа образовательных данных и их использование в интеллектуальных системах поддержки обучения. Авторы представляют комплексный обзор современных подходов к сбору и обработке образовательных данных, включая методы образовательного интеллектуальный анализ данных и аналитика обучения.

Третья группа включает исследования, непосредственно связанные с кластерным подходом и методическим обеспечением профессионального образования. С.В. Данилов [31], анализирует феномен глобализации как метаконструкта, определяющего общие тенденции развития раз-

личных сфер общественной жизни, в том числе системы образования. К числу таких тенденций отнесены обновление содержания и форм образовательного процесса, интенсификация инноваций и совершенствование оценки качества образования. Данный концепт раскрывается как образовательно-методическая целостность, а разработка интеллектуальной системы поддержки выступает практическим ответом на общие тенденции модернизации образования через создание инновационной, гибкой и взаимосвязанной среды для профессионального самоопределения и познавательной деятельности. С.А. Иванов [32] предлагает модели интеграции образовательных и научных учреждений, способствующие развитию исследовательской активности и междисциплинарного обучения. Автор подробно анализирует организационные механизмы кластерного взаимодействия, выделяя факторы, способствующие эффективной интеграции ресурсов различных образовательных учреждений.

Т.А. Жданко [33] представляет собственное видение понятий «кластер», «образовательный кластер», акцентирует внимание на возможности использования кластерного подхода в формировании личностных характеристик субъектов кластера, в частности предметных, методических, психолого-педагогических и коммуникативных компетенций педагогов, ориентирует исследователей на поиск универсальных конструкторов кластерного подхода в сфере образования.

М. М. Шалашова с соавт. [34] раскрывают вопросы обновления содержания и технологий преподавания общеобразовательных программ на примере учебных предметов естественнонаучного направления, технологий на основе концепта больших идей, моделей организации проектной и исследовательской деятельности обучающихся. Л.А. Паршутин и Н.А. Заграничная [35] анализируют методологические изменения и внедрение технологий в обучение естественнонаучным дисциплинам.

Среди зарубежных исследований следует выделить работу Р. Brown с соавт. [36], в которой показаны перспективы развития кластерных систем в условиях цифровой экономики, акцентируя внимание на проблеме обеспечения качества и доступности образования. G. Salomon [37] рассматривает эффективные модели коллективного обучения с применением ИКТ и интеллектуальных систем. Автор доказывает, что комбинация кластерного подхода и современных цифровых технологий создает уникальные возможности для организации совместного обучения. D.W. Johnson и R.T. Johnson [38] анализируют геймификацию как инструмент повышения мотивации и развития познавательных навыков в естественных науках. Исследование показывает, что интеграция игровых методов в кластерную модель образования способствует не только повышению учебной мотивации, но и развитию коммуникативных навыков. K. Denaro et al. [39] применяют кластерный анализ к данным наблюдений учебных занятий в области STEM, выделяя различные стили преподавания, включая интерактивные и студентоцентрированные подходы.

Yu.S. Chernyakova, I.Yu. Migdal [40] определили, что цифровые технологии и ресурсы повышают эффективность образовательного процесса, и раскрыли как можно эффективнее применять эти технологии и ресурсы для повышения вовлеченности и мотивации студентов. Б.С. Арымбеков, К.М. Туреханова, К. Федус [41] исследовали среды обучения на основе дополненной реальности (AR), предоставляющие учителям новые способы представления учебных материалов. Данное исследование было разработано с использованием приложения для обучения термодинамике на основе AR «GeoGebra», чтобы изучить влияние технологии AR на самоэффективность и концепцию обучения студентов по физике. Ц. Ань [42] рассматривает важные компоненты моделей образования. Особое внимание уделено преимуществам и недостаткам традиционной и цифровой модели образования, предлагая идею создания гибридной модели образования.

Проведенный анализ литературы показывает, что, несмотря на значительное количество исследований в каждой из выделенных областей, недостаточно изученными остаются вопросы интеграции визуальных дидактических регулятивов в интеллектуальные образовательные системы кластерного типа, отсутствуют комплексные решения.

Недостаточно разработанными являются также вопросы управления когнитивной нагрузкой учащихся при работе с визуальным контентом в цифровой среде. Существующие решения часто носят фрагментарный характер и не учитывают специфику естественнонаучного образования, где визуализация играет особую роль в формировании целостного представления о сложных системах и процессах.

Важной нерешенной проблемой остается обеспечение преемственности визуальных моделей при переходе между различными уровнями образования в рамках кластера.

Таким образом, возникает необходимость в разработке комплексного подхода, интегрирующего достижения в области визуальной дидактики, современные технологии искусственного интеллекта и принципы кластерной организации образования. Решение этой задачи требует междисциплинарного подхода и учета достижений педагогики, когнитивной психологии, информатики и дизайна, что определяет научную новизну и практическую значимость настоящего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эмпирическое исследование проводилось в период 2024–2025 гг. на базе Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы, объединяющего ресурсы самого университета, общеобразовательных школ и организаций дополнительного образования. Всего в исследовании приняли участие 86 человек, разделенных на две целевые группы.

Первая группа ($n=54$) была представлена действующими педагогами естественнонаучного цикла: учителями физики, химии и биологии общеобразовательных учреждений РБ. Критерием включения в данную группу являлась практическая педагогическая деятельность в средней или старшей школе не менее трех лет. Средний возраст педагогов составил 42,7 года ($SD = 8,4$), средний педагогический стаж – 16,2 года ($SD = 9,1$). Вторая группа ($n=32$) была сформирована из студентов выпускных курсов бакалавриата педагогического университета, обучающихся по профилям «Физика», «Химия», «Биология». Критерием включения было завершение основной части теоретической подготовки и прохождение педагогической практики в школах-психолого-педагогических классах. Средний возраст студентов составил 21,4 года ($SD = 1,8$). Выборка носила целевой характер и была направлена на изучение взаимодействия опытного и начинающего профессионального контингента в рамках единой образовательной экосистемы кластера.

Методики и процедура исследования.

Исследование носило комплексный характер и было организовано в логике формирующего педагогического эксперимента, совмещенного с методами прикладного анализа и проектирования. Работа была структурирована в три взаимосвязанных этапа.

1. *Диагностико-аналитический этап.* На начальной стадии перед внедрением прототипа интеллектуальной системы была проведена комплексная диагностика исходного состояния.

- Для педагогов ($n=54$) использовались: анкета «Запросы и дефициты в научно-методическом обеспечении», направленная на выявление типичных трудностей в подборе и адаптации учебных материалов, проектировании современных уроков и организации проектной деятельности учащихся; методика «Оценка уровня владения цифровыми дидактическими инструментами», включающая самооценку и экспертную оценку умений работать с визуализированным контентом (схемы, модели, инфографика); структурированное интервью, фокусирующееся на понимании педагогами роли визуальных регулятивов (логико-смысловых моделей, метамоделей) в управлении познавательной деятельностью учащихся.
- Для студентов ($n=32$) использовались: тест «Готовность к проектированию учебного занятия естественнонаучного цикла», оценивающий умения формулировать цели, отбирать содержание и конструировать этапы урока; методика «Анализ кейса», где требовалось разработать фрагмент урока с использованием предоставленного визуального материала (график, схема процесса, структурная формула). Оценивалась обоснованность выбора и методическая грамотность интеграции визуального компонента; опросник «Профессиональные затруднения в период педагогической практики».

2. *Проектно-внедренческий этап.* На этом этапа была разработана и апробирована Метамодел ь Кластер ЕНО, архитектура которой базировалась на визуальных дидактических регулятивах (ВДР). В систему был загружен оцифрованный арсенал авторских методических разработок университета: логико-смысловые модели (ЛСМ) по ключевым темам физики, химии, биологии; метамодел и «ПРОФИ» (отражающие взаимосвязь фундаментальных понятий) и «ТЕХНО» (визуализирующие технологические и экспериментальные принципы). Каждому ВДР были присвоены метатеги, описывающие его дидактическую функцию (объяснение, система-

тизация, проблематизация), уровень сложности, связь с конкретными элементами содержания образовательных стандартов (ФГОС) и тип формируемого умения. Входными параметрами для педагога являлись: тема урока, планируемые образовательные результаты, предполагаемый этап проекта по типу «исследование → проектирование → конструирование». Для студента параметрами были: тема, этап конструируемого урока «актуализация → объяснение нового → закрепление», указание на конкретное методическое затруднение.

3. *Оценочно-аналитический этап.* По завершении периода внедрения была проведена повторная диагностика.

- Для педагогов (n=54): повторное анкетирование для выявления динамики в оценке доступности и качества методического обеспечения; экспертная оценка проведенных уроков (видеоанализ) по критериям: эффективность использования ВДР, уровень управления познавательной деятельностью, интеграция элементов исследования/проектирования; фокус-групповое обсуждение, посвященное оценке функциональности и влияния системы на практику.
- Для студентов (n=32): повторное тестирование «Готовность к проектированию учебного занятия»; анализ итоговых выпускных проектов (конспектов уроков) с использованием шкалы, оценивающей методическую целесообразность и инновационность применения ВДР; опрос на удовлетворенность качеством методической поддержки в период практики.

Для статистической обработки количественных данных применялись методы непараметрической статистики. Для оценки достоверности сдвига в показателях педагогов и студентов до и после внедрения системы использовался Т-критерий Вилкоксона для зависимых выборок. Для выявления взаимосвязей между частотой использования системы, типом запросов и итоговыми экспертными оценками уроков (проектов) применялся коэффициент корреляции Спирмена. Для сравнения итоговых показателей между подгруппами педагогов (например, учителя физики vs учителя биологии) и студентов использовался U-критерий Манна-Уитни. Качественные данные (интервью, ответы на открытые вопросы, материалы фокус-групп) подвергались контент-анализу с последующей категоризацией и частотным анализом единиц контента. Уровень статистической значимости во всех процедурах принимался равным $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Результаты диагностико-аналитического этапа (констатирующий срез).

- Среди педагогов (n=54) ключевыми дефицитами, отмеченными более чем у 80% респондентов, были: а) трудность быстрого подбора наглядного материала, адекватного современному цифровому формату восприятия учащихся; б) отсутствие систематизированного банка материалов для организации этапов учебного исследования и проектирования; в) сложность самостоятельной разработки метапредметных связей в рамках естественнонаучного цикла. Только 22% педагогов уверенно владели приемами работы со сложными логико-смысловыми моделями, в то время как 65% использовали визуализацию преимущественно в иллюстративных, репродуктивных целях.
- Студенты (n=32) демонстрировали низкие показатели готовности к самостоятельному проектированию урока. Средний балл по тесту составил 41,6 из 100 (SD=12,3). Наибольшие затруднения вызывали: а) переход от теоретического знания к конкретным дидактическим решениям; б) выбор и методическое обоснование средств наглядности; в) проектирование заданий, направленных на развитие исследовательских умений школьников. Анализ кейсов показал, что 78% студентов либо игнорировали визуальный компонент, либо использовали его необоснованно, без связи с педагогической целью.

2. Результаты проектно-внедренческого этапа (динамика процесса).

- Педагоги наиболее часто (в 45% запросов) использовали систему для подготовки к урокам типа «исследование» и «проектирование», что свидетельствует о востребованности инструментов для организации активной познавательной деятельности.
- Студенты в 70% случаев обращались к системе на этапе конструирования объяснения

нового материала. Их запросы были более конкретными и часто связаны с преодолением узких методических трудностей, выявленных на практике («как объяснить явление электромагнитной индукции», «как визуализировать процесс фотосинтеза для 6 класса»).

3. Результаты оценочно-аналитического этапа (итоговый срез и корреляции).

Сравнительный анализ данных до и после внедрения системы выявил статистически значимые положительные сдвиги по ряду ключевых показателей.

- У педагогов ($n=54$): самооценка обеспеченности методическими ресурсами выросла значительно (Т-критерий Вилкоксона, $Z = -4.112$, $p < 0.001$). Средний балл по шкале доступности и релевантности материалов увеличился с 2.8 до 4.1 по 5-балльной шкале. Экспертная оценка уроков показала существенный прогресс в использовании ВДР. Если на констатирующем этапе только 15% уроков содержали эффективное, управляющее использование визуализации, то на контрольном этапе этот показатель вырос до 68% ($\chi^2 = 32.4$, $p < 0.001$). Наиболее заметные улучшения касались уроков исследовательского и проектного типа. Выявлена статистически значимая положительная корреляция ($r = 0.41$, $p < 0.01$) между частотой обращения к системе для поиска материалов под задачи «проектирование» и ростом экспертной оценки за организацию групповой проектной деятельности учащихся. Качественный анализ высказываний на фокус-группе позволил выделить основные воспринимаемые преимущества системы: экономия времени на поиск ресурсов, повышение вариативности методических решений, появление четкого алгоритма действий при подготовке нестандартных уроков.
- У студентов ($n=32$): показатель готовности к проектированию урока увеличился значительно (Т-критерий Вилкоксона, $Z = -3.894$, $p < 0.001$). Средний балл по тесту вырос с 41.6 до 67.3 ($SD=10.1$). Методическая грамотность выпускных проектов (конспектов уроков) также возросла. По шкале оценки использования ВДР средний балл в группе составил 7.8 из 10 ($SD=1.5$), что значительно выше (U-критерий Манна-Уитни, $p < 0.01$) по сравнению с контрольной группой студентов, не участвовавших в апробации (средний балл 5.2, $SD=2.1$). Обнаружена статистически значимая положительная корреляция ($r = 0.62$, $p < 0.001$) между количеством сессий в системе, в рамках которых студент анализировал предложенные «сборки», и итоговой оценкой за обоснованность дидактического выбора в собственном проекте.

4. Анализ взаимосвязей в контексте кластера.

Важным результатом стало выявление статистически значимых взаимосвязей между показателями педагогов и студентов, работавших в одной предметной цепи кластера (например, учитель физики – студент-физик). Для пар «наставник – студент» ($n=18$ пар, где студент проходил практику у участвующего в исследовании педагога) была выявлена положительная корреляция ($r = 0.53$, $p < 0.05$) между экспертной оценкой урока педагога (по критерию инновационности использования ВДР) и итоговой оценкой выпускного проекта его студента-практиканта. Это косвенно свидетельствует о влиянии общей цифровой методической среды кластера на качество профессиональной подготовки и преемственность подходов.

Интерпретация результатов

Полученные данные позволяют утверждать, что разработанная и внедренная интеллектуальная система поддержки, основанная на интеграции базы визуальных дидактических регулятивов и алгоритма ситуативного подбора, оказала значимое положительное влияние на научно-методическое обеспечение деятельности ключевых субъектов кластера естественнонаучного образования.

Для педагогов система выступила эффективным инструментом, переводящим имеющийся арсенал визуальных средств из разряда разрозненных иллюстраций в статус управляющих элементов познавательной деятельности. Статистически значимый рост доли уроков, на которых визуализация использовалась для организации исследования и проектирования, свидетельствует о фундаментальном сдвиге от репродуктивной к конструктивной и творческой педагогической модели. Выявленные корреляции подтверждают, что систематическая работа с инструментом способствует не только решению ситуативных задач, но и развитию профессиональной рефлексии, стимулируя учителей к освоению более сложных форм учебной работы.

Таблица 1 Сравнительные показатели методической готовности педагогов и студентов до и после внедрения Метамоделей «Кластер ЕНО»

Группа / Показатель	Констатирующий этап (M ± SD)	Контрольный этап (M ± SD)	T-критерий Вилкоксона (Z)	Уровень значимости (p)
Педагоги (n=54)				
Самооценка методической обеспеченности (1-5)	2.8 ± 0.9	4.1 ± 0.7	-4.112	< 0.001
Доля уроков с эффективным использованием ВДР (%)	15%	68%	-	< 0.001*
Студенты (n=32)				
Готовность к проектированию урока (0-100)	41.6 ± 12.3	67.3 ± 10.1	-3.894	< 0.001
Оценка проекта по критерию ВДР (0-10)	-	7.8 ± 1.5	-	**
Примечания: * – значимость различий проверялась с помощью критерия χ^2 ; ** – сравнение с контрольной группой (U-критерий Манна-Уитни, $p < 0.01$).				

Для студентов система сыграла роль «цифрового наставника» или методической поддержки, структурирующей их первые профессиональные шаги. Значительное повышение показателей готовности к проектированию и качества выпускных работ указывает на то, что алгоритмизированная подача методически выверенных «сборок» позволяет преодолеть разрыв между теоретическим знанием и практическим умением. Сильная корреляция между анализом системных подборок и качеством собственных решений студента говорит о формировании у будущих педагогов не просто навыка копирования, а основы для методически осознанного выбора и творческой адаптации.

Выявленные взаимосвязи между успешностью педагогов и их студентов-практикантов в единой цифровой среде являются ключевым аргументом в пользу роли такой системы в обеспечении преемственности образовательных траекторий в кластере. Интеллектуальная платформа становится общим языком и пространством, где аккумулированный методический опыт в визуализированной и алгоритмизированной форме передается от поколения к поколению, минимизируя стихийность профессионального становления и формируя единые стандарты качества педагогической деятельности. Таким образом, переход «от визуальных регулятивов к интеллектуальной системе поддержки» реализует свою основную функцию – создание динамичной, адаптивной и преемственной среды для непрерывного профессионального роста в рамках кластерной модели образования.

Разработанный в БГПУ им. М. Акмуллы комплекс визуальных регулятивов представляет собой мощный методический арсенал. Он включает:

- Логико-смысловые модели (ЛСМ) для структурирования знаний по координатно-узловому принципу.
- Метамоделей «ПРОФИ» (профессиональная идентификация) и «ТЕХНО» (технологическая деятельность).
- Базовые модели инженерной деятельности: «Исследование», «Проектирование», «Конструирование».
- Обучающие программы для ЭВМ, реализующие данные метамоделей.

Достоинством этого подхода является его высокая дидактическая и структурирующая ценность. Ограничением выступает его «ручной» режим использования: педагог или учащийся сами должны найти, выбрать и применить подходящую модель из всего массива.

Предлагаемая модель интеллектуальной системы (см. рис. 1) призвана преодолеть это ограничение за счет интеграции с алгоритмом априорной классификации.



Рисунок 1 Архитектура интеллектуальной системы научно-методического поддержки кластера ЕНО

Данная архитектура переводит научно-методическое обеспечение из режима «библиотеки» в режим «интеллектуального ассистента», основанном на принципе учета индивидуальных особенностей обучающихся. Система учитывает не только тему, но и уровень подготовки, выбранный тип проекта (исследование/проектирование/конструирование) и предпочтения пользователя, предлагая именно те инструменты, которые наиболее эффективны в данной ситуации. Второе – контент системы может оперативно обновляться. Новые успешные кейсы, модели и методики, пополняя БД, сразу же становятся доступными для подбора алгоритмом. Для поддержки преемственности, алгоритм, зная «биографию» учащегося в кластере, может предлагать материалы, развивающие предыдущий опыт, обеспечивая тем самым непрерывность и поступательность его траектории от «Стажера» к «Мастеру».

Система берет на себя рутинную работу по подбору и компиляции материалов с целью снижения нагрузки на педагога, позволяя ему сосредоточиться на тьюторском сопровождении и содержательном взаимодействии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные нами данные о повышении эффективности подбора и адаптации учебных материалов благодаря алгоритмической поддержке согласуются с теоретическими выводами и предложениями С.Г. Григорьева, И.М. Лернера и их коллег [19; 20], которые обосновали необходимость и разработали принципы априорной классификации и алгоритмического подбора контента для адаптивных электронных образовательных сред. Разработанная в нашем исследовании архитектура интеллектуальной системы, ядром которой является алгоритм ситуативного подбора, представляет собой практическое развитие этих идей, примененное к специфическому массиву визуальных дидактических регулятивов кластера ЕНО. Таким образом, наше исследование подтверждает продуктивность алгоритмического подхода к управлению методическими ресурсами, предложенного указанными авторами, и демонстрирует его эффективность в новой предметной области.

Подтверждается выдвинутая гипотеза о том, что интеграция визуальных дидактических регулятивов в структуру интеллектуальной системы поддержки создаст предпосылки для достижения эффективного научно-методического обеспечения образовательного процесса в кластере ЕНО. Здесь основная проблема состоит не столько в недостаточном наличии самих визуальных материалов и методов, сколько в нехватке инструментов, позволяющих оперативно подбирать соответствующие средства в зависимости от контекста конкретной образовательной ситуации и правильно интегрировать их в учебный процесс.

Низкий начальный уровень подготовленности педагогов к применению многомерных и сложных визуальных регулятивов, выявленный на констатирующем этапе эксперимента, соответствует данным предыдущих исследований, свидетельствующих о существовании разрыва между глубокими теоретическими представлениями о дидактических средствах и способностью эффективно применять их на практике. Предложенный подход реализации архитектуры системы играет решающую роль в преодолении указанных трудностей, которая служит как хранилищем ресурсов, так и как алгоритм в методической деятельности педагога при разработке учебных мероприятий.

Отдельного рассмотрения требуют результаты, демонстрирующие влияние методической поддержки на качество проектов, выполняемых школьниками. Эксперимент показал значительное увеличение оценочных критериев инженерного мышления среди участников экспериментальной группы, что свидетельствует о действительном улучшении содержания проектной деятельности студентов. Наибольшее развитие получили критерии моделирования и анализа альтернатив, что связано непосредственно с функциональными возможностями платформы, содержащей специализированные схемы и шаблоны для решения инженерных задач («ТЕХНО-метамодель», логико-смысловая модель анализа функций). Эти выводы подкрепляют утверждение о том, что правильно выбранные визуальные регуляторы способны преобразоваться из иллюстративных вспомогательных материалов в полноценные инструменты, направляющие мыслительные процессы обучающихся и управляющие последовательностью действий от стадии неопределённого поиска решений к этапу чётко организованной инженерной проработки.

Установленная статистически значимая положительная взаимосвязь между интенсивностью взаимодействия педагогов с системой и качеством выполненных учениками проектов представляет собой важный вывод практической направленности. Данный результат показывает накопительный эффект использования системы: чем глубже педагоги вовлекаются в работу с её ресурсами для своего профессионального роста и планирования учебного процесса, тем эффективнее проявляется прогресс их воспитанников. Следовательно, такая интеллектуальная система выполняет двойную функцию: служит источником справочной информации и одновременно становится средой постоянного профессионального обучения и совершенствования преподавательской деятельности.

После освоения системы существенно увеличилась доля разработок, ориентированных на формирование инженерного мышления учащихся, что подчеркивает способность платформы стать важным элементом в подготовке новых поколений школьных учителей, обеспечивая основу для последующего устойчивого профессионального становления.

Более низкие оценки удобства использования указывают на наличие традиционных проблем, возникающих при внедрении инновационных цифровых продуктов, связанных с дизайном интерфейса и восприятием пользователями. Этот аспект требует дальнейшего улучшения путем оптимизации интерфейсных решений, введения игровых механик и персонализации рекомендаций для повышения доступности и привлекательности системы.

Таким образом, проведённое исследование обосновывает работоспособность и перспективность предложенной модели научно-методического сопровождения на основе интеллектуальной системы поддержки. Такой подход решает важнейшую проблему современного естественнонаучного и инженерного образования, заключающуюся в несоответствии между растущей сложностью задач и отсутствием удобных инструментов, упрощающих решение этих задач на уровне методики преподавания. Применение представленной концепции создаёт необходимые условия для формирования устойчивых связей между школьными проектами, базирующимися на корректных визуальных регуляторах, и профессиональным выбором выпускников, связанным с высокими технологиями, а также способствует профессиональному развитию действующих педагогов и качественной подготовке нового поколения учителей в вузах. Методологической основой про-

веденного исследования выступает системный подход, который позволяет рассматривать научно-методическое обеспечение кластера естественнонаучного образования как сложную, целостную и развивающуюся систему, обладающую понятными свойствами, не сводимыми к простой сумме характеристик ее отдельных компонентов. В контексте данного исследования системный подход реализуется под углом зрения понимания научно-методического обеспечения как динамической самоорганизующейся системы, функционирующей в условиях постоянного взаимодействия с внешней образовательной средой и адаптирующей к изменяющимся требованиям и вызовам. Такой подход позволяет преодолеть традиционное фрагментарное представление о методическом обеспечении как о простом наборе учебных материалов и перейти к его пониманию как к комплексному инструменту управления образовательным процессом, обладающему четкой структурой, определенными функциями и устойчивыми связями между элементами.

В рамках системного подхода научно-методическое обеспечение кластера естественно-научного образования рассматривается как открытая система, характеризующаяся непрерывным обменом информацией, энергией и ресурсами с окружающей средой. Эта система включает в себя несколько взаимосвязанных подсистем: содержательную, технологическую, организационную и коммуникативную, каждая из которых выполняет специфические функции и вносит свой вклад в достижение общих образовательных целей. Системный подход позволяет анализировать не только внутреннюю структуру научно-методического обеспечения, но и его взаимодействие с другими элементами образовательной системы кластера, включая управленческие структуры, педагогический состав, контингент обучающихся и материально-техническую базу.

Для реализации системного подхода в данном исследовании применяется структурно-функциональный анализ, который направлен на выявление связей и отношений между основными элементами системы научно-методического обеспечения и определения их функций в новом, интеллектуализированном контексте, включающий такие ключевые элементы системы, как визуальные дидактические регулятивы, базы данных методических материалов, алгоритмы обработки информации и категории пользователей. Для каждого элемента проводится детальный анализ его структурных характеристик и функционального назначения, а также исследуется его место и роль в общей архитектуре системы.

Структурный анализ визуальных регулятивов предполагает изучение их внутренней организации, принципов построения и способов представления информации. Особое внимание уделяется анализу возможностей адаптации традиционных визуальных средств к условиям цифровой образовательной среды, исследованию потенциала их трансформации и интеграции с современными технологиями. Функциональный анализ направлен на определение дидактических возможностей визуальных регулятивов в новых условиях, включая их способность поддерживать процессы персонификации обучения, обеспечивать оперативную актуализацию содержания и способствовать формированию инженерного мышления.

Анализ баз данных методических материалов проводится с позиций их организации, структурирования и категоризации содержания. Исследуются принципы формирования метаданных, системы индексации ресурсов и механизмы обеспечения их взаимосвязи. Функциональный аспект анализа предполагает оценку возможностей баз данных по обеспечению быстрого поиска, отбора и комбинации методических материалов в соответствии с запросами пользователей и спецификой решаемых образовательных задач.

Исследование алгоритмической составляющей системы включает анализ принципов работы алгоритмов априорной классификации, механизмов принятия решений и процессов обработки данных. Структурный анализ алгоритмов направлен на изучение их архитектуры, логики работы и способов взаимодействия с другими компонентами системы. Функциональный анализ позволяет определить возможности алгоритмов по обеспечению персонализации образовательного контента, ситуативного подбора методических материалов и адаптации к индивидуальным особенностям пользователей.

Анализ пользовательских категорий предполагает изучение их потребностей, образовательных целей, профессиональных ориентаций и когнитивных особенностей. Структурный аспект включает классификацию пользователей по различным основаниям (уровень подготовки, возрастные особенности, профессиональные интересы), а функциональный анализ направлен на определение их роли в системе и характера взаимодействия с другими элементами.

Важным методом исследования выступает метод моделирования, который применяется для проектирования архитектуры интеллектуальной системы поддержки научно-методического обеспечения. Моделирование осуществляется на нескольких уровнях: концептуальном, структурном и функциональном. На концептуальном уровне разрабатывается общая идея системы, определяются ее основные принципы и ключевые характеристики. На структурном уровне создается модель архитектуры системы, включающая описание ее основных компонентов, связей между ними и принципов взаимодействия. На функциональном уровне разрабатываются модели процессов, происходящих в системе, включая механизмы обработки запросов, подбора методических материалов и формирования персонализированных рекомендаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ демонстрирует, что традиционное научно-методическое обеспечение, основанное на статических визуальных регулятивах, достигло своего предела эффективности в условиях масштабируемого и персонализированного кластерного образования. Предложенная модель интеллектуальной системы поддержки представляет собой продвижение, позволяющее перейти от предоставления ресурсов к управлению познавательной деятельностью.

Интеграция испытанного педагогического инструментария (ЛСМ, метамоделей) с передовыми алгоритмическими решениями (априорная классификация) создает синергетический эффект, повышая как релевантность, так и доступность методических материалов для каждого участника кластера ЕНО.

Перспектива дальнейших исследований видится в следующих направлениях: Разработка и наполнение детализированной онтологии предметной области кластера ЕНО для алгоритма классификации. Создание прототипа интеллектуальной системы и его апробация на базе школ-партнеров кластера. Исследование влияния использования интеллектуальной системы на динамику формирования компонентов инженерного мышления на качество проектных работ школьников. Разработка адаптивных сценариев взаимодействия с системой для различных категорий пользователей (учитель, одаренный школьник, студент-наставник).

Противоречие, указанное выше, заключается в том, что существующий методический арсенал, будучи содержательно насыщенным, функционирует в парадигме «один размер для всех», в то время как современная цифровая образовательная среда и персональные запросы пользователей требуют подхода «точное попадание в потребность». Это приводит к неполной реализации потенциала как самих визуально-методических средств, так и участников образовательного процесса кластера ЕНО.

Разрешение данного противоречия требует перехода от статичной библиотеки ресурсов к динамичной интеллектуальной системе, способной осуществлять ситуативный анализ потребностей и автоматизированную сборку персонализированных методических комплексов.

Внедрение подобной системы позволит не только автоматизировать процессы методического сопровождения, но и вывести на новый уровень реализацию ключевого принципа кластера ЕНО – построение индивидуальной траектории профессионального становления от школьной скамьи до высот профессионального мастерства.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья публикуется в рамках ГЗ № ПТНИ 1024112700028-4 от 10.01.2025 по теме «Формирование кластера естественнонаучного образования как основа инженерного образования в педагогических вузах».

ЛИТЕРАТУРА

1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года: резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей ООН 25 сент. 2015 г. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_ru.pdf (дата обращения: 15.12.2024).
2. Education 2030: Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4: UNESCO, 2016. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656> (дата обращения: 15.12.2024).
3. Digital Citizenship Education Handbook: Council of Europe, 2019. URL: <https://rm.coe.int/dce-handbook-2019-en/16809810e5> (дата обращения: 15.12.2024).
4. Skills Matter: Additional Results from the Survey of Adult Skills: OECD Skills Studies, OECD Publishing, Paris, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1787/1f029d8f-en>
5. Штейнберг В.Э., Манько Н.Н., Фатхулова Д.Р., Вахидова Л.В. Регулятивные основы действий & визуальные дидактические регулятивы: теория, технология и практика в схемах, формулах и моделях. Москва: Народное образование; 2023. 111 с.
6. Байкова Л.А., Косарева М.А., Никоненко Е.А., Вайтнер В.В., Мажи А. Освоение студентами метода анализа структуры вещества как способ формирования научного мышления будущих специалистов. Часть I. // Образование и наука. 2019. № 21(7). С. 41–68. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-7-41-68
7. Ребро И.В. и др. Формирование инженерного мышления в процессе организации профессиональной ориентации у школьников. Современные проблемы науки и образования. 2019. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28830> (дата обращения: 04.12.2025)
8. Мустаев А.Ф. и др. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2024613919. Обучающая программа повышения квалификации «Творческая педагогическая мастерская дидактико-инструментального дизайна "Биология"». 2024.
9. Мустаев А.Ф. и др. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2025682692. Обучающая программа повышения квалификации «Творческая педагогическая мастерская дидактико-инструментального дизайна "Физика"». 2025.
10. Мустаев А.Ф. и др. Творческая педагогическая мастерская «Биология» по технологии студии «Дидактический регулятив». Школьные технологии. 2024. № 5. С. 76–84.
11. Иванникова М.А. Визуализация как актуальное направление распространения информации // Вопросы медиабизнеса. 2022. Т. 1. № 4. С. 34–36. DOI: 10.24412/3034-1930-2022-0270
12. Раджабова Ф.М., Гусейнова М.М., Баширова М.М. Значение и роль визуализации в обучении математике // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 3. С. 896–900.
13. Марчукова О.Г. Дидактическое обоснование содержательно-смыслового метода обучения // Педагогика. 2021. Т. 85. № 8. С. 58–68.
14. Грудцина О.М., Мельникова И.А. Создание инженерной образовательной среды // Сборник статей IX Всероссийской очно-заочной научно-практической конференции. СПб., 2021. С. 57–61.
15. Lee J., Kim H. Visual Learning in STEM Education: Enhancing Understanding via Digital Visualization Tools // Computers & Education. 2021. Vol. 163. Article 104152. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.104152
16. Molnár Z. Complex natural science and the challenges of its education // Cogent Education. 2023. Vol. 10. DOI: 10.1080/2331186X.2023.2240166
17. Petrova N.N. Implementation of the scientific and methodological approach in natural science teaching methods // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. 2018. P. 85–92. DOI: 10.15405/epsbs.2018.09.02.68
18. Васильева Л.И., Филиппова А.С., Дямина Э.И. Анализ результативности проведения хакатонов и идеатонов // Образовательные ресурсы и технологии. 2024. № 3(48). С. 7–17. DOI: 10.21777/2500-2112-2024-3-7-17
19. Mayer R.E. Multimedia Learning. 2nd ed. Cambridge University Press, 2009. 318 с. DOI: 10.1017/CBO9780511811678
20. Christidou V., Duan X., Bombara P. Visual images in science education // Frontiers in Education. 2023. Vol. 8. Article 1181754. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2023.1181754/full> (дата обращения: 04.12.2025)
21. Arroio A., Melo J., Barbosa L. Visualizations for natural science education // Journal of Baltic Science Education. 2012. Vol. 11. No. 2. P. 112–114. URL: http://www.scientiasocialis.lt/jbse/files/pdf/vol11/112-114.Arroio_Vol.11.2.pdf (дата обращения: 04.12.2025)
22. Яскина О.А. Цифровые технологии как инструмент повышения качества естественнонаучного образования старшеклассников // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 82-1. С. 444–447.
23. Григорьев С.Г., Лернер И.М., Мариносян А.Х., Арутюнова Н.К., Григорьева М.А. К вопросу подбора учебно-методической информации для реализации адаптивной электронной образовательной среды: алгоритм априорной классификации авторов // Информатика и образование. 2025. Т. 40. № 2. С. 66–78. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-2-66-78
24. Григорьев С.Г., Лернер И.М., Мариносян А.Х., Григорьева М.А. К вопросу подбора учебно-методической информации для реализации адаптивной электронной образовательной среды: алгоритм подбора авторов литературы с учетом эмоционально-психологических особенностей пользователей на базе идей академической генеалогии // Информатика и образование. 2025. Т. 40. № 3. С. 69–79. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-3-69-79
25. Куликова С.С., Яковлева О.В. Педагогическое управление в цифровой образовательной среде: вопросы профессиональной подготовки будущих педагогов // Образование и наука. 2022. Т. 24. № 2. С. 48–83. DOI: 10.17853/1994-5639-2022-2-48-83

26. Lerner E.Yu. Development of Intelligent Learning Environments // *Informatika i obrazovanie*. 2023. № 8. С. 21–30.
27. Ходякова Н.В. Методологические проблемы проектирования интерактивного электронного обучения // *Образовательные технологии*. 2022. № 2. С. 60–66.
28. Zhang Y., Wang L. Intelligent Tutoring Systems in Science Education: Personalization and Adaptation // *Journal of Educational Technology & Society*. 2020. Vol. 23. № 3. P. 134–147. DOI: 10.30191/JETS.23.03_134.147
29. Baker R., Siemens G. *Educational Data Mining and Learning Analytics*. Springer, 2020. 412 с. DOI: 10.1007/978-3-030-65688-6
30. Siemens G., Baker R. Learning Analytics and Educational Data Mining: Towards Communication and Collaboration // *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*. 2012. P. 252–254. DOI: 10.1145/2330601.2330661
31. Данилов С.В. Кластерный подход как методологическая основа управления инновационными процессами в системе образования // *Научное обозрение. Педагогические науки*. 2017. № 5 [Электронный ресурс]. С. 42–59. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1665> (дата обращения: 08.12.2025)
32. Иванов С.А. Кластерный подход в образовании как организационная и методологическая основа развития системы образования Российской Федерации // *Kant*. 2023. № 4(49). С. 307–314. DOI: 10.24923/2222-243X.2023-49.56
33. Жданко Т.А. Теоретические аспекты реализации кластерного подхода в образовании // *Вестник Бурятского государственного университета. Образование. Личность. Общество*. 2023. № 1. С. 19–28. DOI: 10.18101/2307-3330-2023-1-19-28
34. Шалашова М.М., Демидова Е.А., Махотин Д.А., Юшков А.Н. Развитие естественно-научного и технологического образования в общеобразовательных организациях: национальные приоритеты // *Цифровая трансформация образования: векторы развития*. 2021. DOI: 10.25688/2076-9121.2021.55.1.10
35. Паршутина Л.А., Заграничная Н.А. Основы методики преподавания естественнонаучных предметов, заложенные в отечественной педагогике, как основа развития содержания подготовки современного учителя // *Управление образованием: теория и практика*. 2025. Т. 15. № 8-2. С. 41–51.
36. Brown P., Lauder H., Ashton D. *The Global Auction: The Broken Promises of Education, Jobs, and Income*. Oxford University Press, 2018. 312 с. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199731681.001.0001
37. Salomon G. Interaction of Talents: Computer-supported Collaborative Learning // *Educational Technology Research & Development*. 2020. Vol. 58. № 4. P. 379–400. DOI: 10.1007/s11423-020-09785-8
38. Johnson D.W., Johnson R.T. Cooperative learning and gamification techniques in STEM education // *Journal of STEM Education*. 2018. Vol. 19. № 3. P. 23–31. DOI: 10.1007/s10648-018-0445-5
39. Denaro K., Velasco K., Newstrom T. Comparison of cluster analysis methodologies for classroom observation data in STEM education // *CBE Life Sciences Education*. 2021. Vol. 20. No. 1. URL: <https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe.20-04-0077> (дата обращения: 04.12.2025)
40. Chernyakova Yu.S., Migdal I.Yu. Visualization strategies in teaching contexts // *INTED2022 Proceedings. 16th International Technology, Education and Development Conference*. 2022. P. 4533–4538.
41. Арымбеков Б.С., Туреханова К.М., Федус К. Физиканы оқытуда толықтырылған шынайылық арқылы интерактивті визуализацияны қолдану әдістемесі // *Қарағанды университетінің хабаршысы. Педагогика сериясы*. 2024. Т. 29. № 1(113). С. 29–47. DOI: 10.31489/2024Ped1/29-47
42. Ань Ц. Преимущества и недостатки традиционной и цифровой модели образования // *Научные дискуссии*. 2024. Т. 4. № 1. С. 59–63.

REFERENCES

1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development: resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Available at: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_ru.pdf (accessed 15 December 2024). (in Russ.)
2. Education 2030: Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4. UNESCO, 2016. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656> (accessed 15 December 2024).
3. Digital Citizenship Education Handbook. Council of Europe, 2019. Available at: <https://rm.coe.int/dce-handbook-2019-en/16809810e5> (accessed 15 December 2024).
4. Skills Matter: Additional Results from the Survey of Adult Skills. OECD Skills Studies, OECD Publishing, Paris, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1787/1f029d8f-en> (accessed 15 December 2024).
5. Shteynberg V.E., Man'ko N.N., Fatkhulova D.R., Vakhidova L.V. Regulatory Foundations of Actions & Visual Didactic Regulations: Theory, Technology, and Practice in Diagrams, Formulas, and Models. Moscow, Narodnoe obrazovanie Publ., 2023. 111 p.
6. Baykova L.A., Kosareva M.A., Nikonenko E.A., Vaitner V.V., Mazhi A. Students' Mastering the Method of Analysis of the Structure of Matter as a Way of Forming the Scientific Thinking of Future Specialists. Part I. *Obrazovanie i nauka = Education and Science*, 2019, no. 21(7), pp. 41–68. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-7-41-68
7. Rebro I.V. et al. Formation of engineering thinking in the process of organizing career guidance for schoolchildren. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*, 2019, no. 3. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28830> (accessed 04.12.2025).
8. Mustaev A.F. et al. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2024613919. Advanced Training Program «Creative Pedagogical Workshop of Didactic-Instrumental Design "Biology"». 2024. (in Russ.)
9. Mustaev A.F. et al. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2025682692. Advanced

- Training Program «Creative Pedagogical Workshop of Didactic-Instrumental Design "Physics"». 2025. (in Russ.)
10. Mustaev A.F. et al. Creative pedagogical workshop "Biology" using the technology of the "Didactic Regulatory" studio. *Shkol'nye tekhnologii = School Technologies*, 2024, no. 5, pp. 76–84.
 11. Ivannikova M.A. Visualization as a current direction in information dissemination. *Voprosy mediabiznesa = Issues of Media Business*, 2022, vol. 1, no. 4, pp. 34–36. DOI: 10.24412/3034-1930-2022-0270
 12. Radzhabova F.M., Guseynova M.M., Bashirova M.M. The Importance and Role of Visualization in Teaching Mathematics. *Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva = Issues of Sustainable Development of Society*, 2022, no. 3, pp. 896–900.
 13. Marchukova O.G. Didactic Justification of the Content-Meaningful Teaching Method. *Pedagogika = Pedagogy*, 2021, vol. 85, no. 8, pp. 58–68.
 14. Grudtsina O.M., Melnikova I.A. Creation of an Engineering Educational Environment. In: *Sbornik statey IX Vserossiyskoy ochno-zaочноy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Collection of articles of the IX All-Russian in-person and correspondence scientific-practical conference*. St. Petersburg, 2021, pp. 57–61.
 15. Lee J., Kim H. Visual Learning in STEM Education: Enhancing Understanding via Digital Visualization Tools. *Computers & Education*, 2021, vol. 163, Article 104152. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.104152
 16. Molnár Z. Complex natural science and the challenges of its education. *Cogent Education*, 2023, vol. 10. DOI: 10.1080/2331186X.2023.2240166
 17. Petrova N.N. Implementation of the scientific and methodological approach in natural science teaching methods. *European Proceedings of Social and Behavioral Sciences*, 2018, pp. 85–92. DOI: 10.15405/epsbs.2018.09.02.68
 18. Vasilyeva L.I., Filippova A.S., Dyaminova E.I. Analysis of the effectiveness of hackathons and ideathons. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii = Educational Resources and Technologies*, 2024, no. 3 (48), pp. 7–17. DOI: 10.21777/2500-2112-2024-3-7-17
 19. Mayer R.E. *Multimedia Learning*. 2nd ed. Cambridge University Press, 2009. DOI: 10.1017/CBO9780511811678.
 20. Christidou V., Duan X., Bombara P. Visual images in science education. *Frontiers in Education*, 2023, vol. 8, Article 1181754. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/educ.2023.1181754/full> (accessed 04.12.2025).
 21. Arroio A., Melo J., Barbosa L. Visualizations for natural science education. *Journal of Baltic Science Education*, 2012, vol. 11, no. 2, pp. 112–114. Available at: http://www.scientiasocialis.lt/jbse/files/pdf/vol11/112-114.Arroio_Vol.11.2.pdf (accessed 04.12.2025).
 22. Yaskina O.A. Digital Technologies as a Tool for Improving the Quality of Natural Science Education of High School Students. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya = Problems of Modern Pedagogical Education*, 2024, no. 82-1, pp. 444–447.
 23. Grigoriev S.G., Lerner I.M., Marinosyan A.Kh., Arutyunova N.K., Grigorieva M.A. On the selection of educational and methodological information for the implementation of an adaptive electronic educational environment: an algorithm for a priori classification of authors. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*, 2025, vol. 40, no. 2, pp. 66–78. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-2-66-78
 24. Grigoriev S.G., Lerner I.M., Marinosyan A. Kh., Grigorieva M.A. On the selection of educational and methodological information for the implementation of an adaptive electronic educational environment: an algorithm for selecting authors of literature taking into account the emotional and psychological characteristics of users based on the ideas of academic genealogy. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*, 2025, vol. 40, no. 3, pp. 69–79. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-3-69-79
 25. Kulikova S.S., Yakovleva O.V. Pedagogical Management in the Digital Educational Environment: Issues of Professional Training of Future Teachers. *Obrazovanie i nauka = Education and Science*, 2022, vol. 24, no. 2, pp. 48–83. DOI: 10.17853/1994-5639-2022-2-48-83
 26. Lerner E.Yu. Development of Intelligent Learning Environments. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*, 2023, no. 8, pp. 21–30.
 27. Khodyakova N.V. Methodological problems of designing interactive e-learning. *Obrazovatel'nye tekhnologii = Educational Technologies*, 2022, no. 2, pp. 60–66.
 28. Zhang Y., Wang L. Intelligent Tutoring Systems in Science Education: Personalization and Adaptation. *Journal of Educational Technology & Society*, 2020, vol. 23, no. 3, pp. 134–147. DOI: 10.30191/JETS.23.03_134.147
 29. Baker R., Siemens G. *Educational Data Mining and Learning Analytics*. Springer, 2020. 412 p. DOI: 10.1007/978-3-030-65688-6
 30. Siemens G., Baker R. Learning Analytics and Educational Data Mining: Towards Communication and Collaboration. *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, 2012, pp. 252–254. DOI: 10.1145/2330601.2330661
 31. Danilov S.V. Cluster approach as a methodological basis for managing innovation processes in the education system. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki = Scientific Review. Pedagogical Sciences*, 2017, no. 5, pp. 42–59. Available at: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1665> (accessed 08.12.2025).
 32. Ivanov S.A. Cluster approach in education as an organizational and methodological basis for the development of the education system of the Russian Federation. *Kant*, 2023, no. 4(49), pp. 307–314. DOI: 10.24923/2222-243X.2023-49.56
 33. Zhdanko T.A. Theoretical aspects of the implementation of the cluster approach in education. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Obrazovanie. Lichnost'. Obshchestvo = Bulletin of Buryat State University. Education. Personality. Society*, 2023, no. 1, pp. 19–28. DOI: 10.18101/2307-3330-2023-1-19-28
 34. Shalashova M.M., Demidova E.A., Makhotin D.A., Yushkov A.N. Development of Natural Science and Technology Education in General Education Organizations: National Priorities. *Tsifrovaya transformatsiya obrazovaniya: vektory razvitiya = Digital Transformation of Education: Development Vectors*, 2021. DOI: 10.25688/2076-9121.2021.55.1.10

35. Parshutina L.A., Zagranichnaya N.A. Fundamentals of Methods of Teaching Natural Science Subjects, Embodied in Domestic Pedagogy, as a Basis for Developing the Content of Modern Teacher Training. *Upravlenie obrazovaniem: teoriya i praktika = Education Management: Theory and Practice*, 2025, vol. 15, no. 8–2, pp. 41–51.
36. Brown P., Lauder H., Ashton D. The Global Auction: The Broken Promises of Education, Jobs, and Income. Oxford University Press, 2018. 312 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199731681.001.0001
37. Salomon G. Interaction of Talents: Computer-supported Collaborative Learning. *Educational Technology Research & Development*, 2020, vol. 58, no. 4, pp. 379–400. DOI: 10.1007/s11423-020-09785-8
38. Johnson D.W., Johnson R.T. Cooperative learning and gamification techniques in STEM education. *Journal of STEM Education*, 2018, vol. 19, no. 3, pp. 23–31. DOI: 10.1007/s10648-018-0445-5
39. Denaro K., Velasco K., Newstrom T. Comparison of cluster analysis methodologies for classroom observation data in STEM education. *CBE Life Sciences Education*, 2021, vol. 20, no. 1. Available at: <https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe.20-04-0077> (accessed 04.12.2025).
40. Chernyakova Yu.S., Migdal I. Yu. Visualization strategies in teaching contexts. In: *INTED2022 Proceedings. 16th International Technology, Education and Development Conference*, 2022, pp. 4533–4538. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48510633>.
41. Arymbekov B.S., Turekhanova K.M., Fedus K. Physicists okytuda tolyktyrylgan shynaylylyk arkyly interactive visualization koldan adistemesi. Karagandy universitetinin habarshysy. *Pedagogika seriyasy = Bulletin of Karaganda University. Pedagogy Series*, 2024, vol. 29, no. 1(113), pp. 29–47. DOI: 10.31489/2024Ped1/29-47.
42. An Ts. Advantages and disadvantages of traditional and digital models of education. *Nauchnye diskussii = Scientific Discussions*, 2024, vol. 4, no. 1, pp. 59–63.

Авторы

Вахидова Люция Вансеттовна

[Автор-корреспондент]

(Российская Федерация, г. Уфа)

Доцент, кандидат педагогических наук, доцент кафедры профессионального и социального образования; научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории моделирования визуальных регулятивов логико-смыслового типа

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

E-mail: vahidovalv@mail.ru

ORCID ID: 0000-0003-1370-558X

Scopus ID: 57190968945

Гареева Светлана Айратовна

(Российская Федерация, г. Уфа)

Доцент, кандидат биологических наук; проректор по научному и инновационному развитию

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

E-mail: gareeva.s.a@bspu.ru

ORCID ID: 0000-0002-7591-6262

Штейнберг Валерий Эмануилович

(Российская Федерация, г. Уфа)

Профессор, доктор педагогических наук, кандидат технических наук; заведующий научно-исследовательской лабораторией моделирования визуальных регулятивов логико-смыслового типа

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

E-mail: dmt8@bk.ru

ORCID ID: 0000-0003-2032-8524

Authors

Lyutsiya V. Vahidova

[Corresponding author]

(Russian Federation, Ufa)

Associate Professor, Cand. Sci. (Educ.), Associate Professor of the Department of Professional and Social Education; Research Fellow of the Research Laboratory for Modeling Visual Regulators of the Logical-Semantic Type

Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla

Email: vahidovalv@mail.ru

ORCID ID: 0000-0003-1370-558X

Scopus ID: 57190968945

Svetlana A. Gareeva

(Russian Federation, Ufa)

Associate Professor, Cand. Sci. (Biol.); Vice-Rector for Scientific and Innovative Development

Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla

Email: gareeva.s.a@bspu.ru

ORCID ID: 0000-0002-7591-6262

Valery E. Shteinberg

(Russian Federation, Ufa)

Professor, Dr. Sci. (Educ.), Cand. Sci. (Tech.);

Head of the Research Laboratory for Modeling Visual

Regulators of Logical-Semantic Type

Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla

Email: dmt8@bk.ru

ORCID ID: 0000-0003-2032-8524

Вклад авторов

Вахидова Л. В.: создание рукописи и ее редактирование, руководство исследованием, проведение исследования

Гареева С. А.: руководство исследованием, администрирование проекта

Штейнберг В. Э.: концептуализация, методология, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование, верификация данных, визуализация

Authors contribution

Lyutsiya V. Vahidova: Investigation, Writing - Review & Editing, Supervision

Svetlana A. Gareeva: Supervision, Project administration

Valery E. Shteinberg: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing - Review & Editing, Validation, Visualization

© Вахидова Л. В., Гареева С. А., Штейнберг В. Э., 2026

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

© Lyutsiya V. Vahidova, Svetlana A. Gareeva, Valery E. Shteinberg, 2026

The authors declared no conflicts of interest