

МРНТИ 14.35.07

DOI: <https://doi.org/10.47344/m1k5z156>*Сабденова Улбосын^{1*}, Шоқыбаев Женис¹, Арбузова Елена²*¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан²Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия*e-mail: ulbolsyn.sabdenova@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ХИМИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема модернизации высшего педагогического образования в условиях глобальной цифровой трансформации общества. Внимание акцентируется на необходимости обновления подходов к подготовке учителей естественнонаучных дисциплин, способных эффективно интегрировать цифровые технологии в учебный процесс современной школы. Актуальность исследования обусловлена «двойным дефицитом»: с одной стороны, изменением когнитивных и учебных предпочтений обучающихся, с другой — недостаточным методическим использованием уже имеющейся цифровой инфраструктуры. Целью исследования является теоретическое обоснование, разработка и апробация методической модели подготовки будущих учителей химии, ориентированной на формирование профессионально-цифровых компетенций. Методология базируется на компетентностном подходе и методах педагогического эксперимента; работа выполнена в рамках смешанного дизайна (mixed-methods) и включала констатирующий, формирующий и контрольный этапы. Разработана модель, включающая целевой, содержательный, процессуально-технологический и оценочно-результативный блоки; ее реализация обеспечивается спецкурсом «Цифровые технологии в обучении химии» (5 кредитов) с применением ACD/ChemSketch, PhET и Labster по технологии «перевернутого класса» с виртуальным пре-лабингом. Результаты экспериментальной апробации ($n = 60$; ЭГ — 30, КГ — 30) подтвердили эффективность гибридных форм обучения: средний балл в экспериментальной группе вырос с 62,4 до 81,5, в контрольной — с 63,1 до 68,2; зафиксирован статистически значимый рост профессионально-цифровых компетенций в экспериментальной группе ($t = 7,59$; $p < 0,01$; $d = 1,96$), наибольший прирост отмечен по деятельностному критерию (+24%). Практическая значимость заключается в возможности масштабирования предложенного спецкурса и банка виртуальных лабораторных работ в системе высшего педагогического образования.

Ключевые слова: подготовка учителей химии, цифровая трансформация образования, методическая модель, профессионально-цифровая компетентность, виртуальные лаборатории, смешанное обучение, нейропедагогика, STEM-технологии

Введение

Современная парадигма высшего педагогического образования претерпевает фундаментальные изменения под воздействием глобальной цифровой трансформации. В стратегических документах Республики Казахстан подчеркивается необходимость подготовки педагогов новой формации, способных не просто потреблять цифровой контент, но и эффективно интегрировать его в учебный процесс.

Одним из вызовов для методики преподавания химии становится изменение когнитивных и учебных предпочтений обучающихся. Ряд исследователей отмечает, что у поколений Z (Gen Z) и Alpha, социализация которых во многом проходит в условиях насыщенной информационной среды, могут формироваться иные привычки восприятия и обработки информации. В научной литературе в этой связи обсуждается феномен так называемого «клипового мышления» (clip thinking), который ряд авторов связывает с более высокой скоростью обработки визуальной информации и одновременно с возможными затруднениями

при длительной концентрации на линейном текстовом контенте. Следует отметить, что данные о нейрофизиологических основаниях этого феномена остаются дискуссионными и требуют дальнейшей эмпирической проверки.

Для химического образования этот аспект имеет особое значение. Специфика химии заключается в высоком уровне абстракции изучаемых объектов микромира. В классической дидактике этот онтологический разрыв преодолевался за счет развитого ментального воображения (*mental imagery*) — способности студента конструировать внутренние образы на основе слов лектора. Вместе с тем можно предположить, что у современного «цифрового» поколения роль внешней визуализации возрастает: она всё чаще выступает не только вспомогательным средством, но и значимой опорой для формирования образов абстрактных объектов. В этих условиях многие обучающиеся, по-видимому, эффективнее осваивают абстрактные концепты при опоре на интерактивную визуальную поддержку, а традиционная лекционная подача («мел и доска») в ряде случаев может оказываться недостаточной. При этом мы рассматриваем данное положение как рабочую гипотезу, требующую дальнейшей эмпирической проверки, а не как установленный нейрофизиологический факт.

На фоне когнитивных изменений обостряется противоречие на институциональном уровне. Несмотря на значительные инвестиции государства в цифровую инфраструктуру, в системе образования фиксируется феномен «цифрового формализма» — наличия технологий без качественного изменения педагогической практики.

Статистика свидетельствует о масштабах дисбаланса. Так, еще в 2018–2019 учебном году в школах Республики Казахстан было установлено 38 691 интерактивная доска (Юсупова, 2020), однако коэффициент их использования в полном функциональном диапазоне остается низким. Реализация Национального проекта «Комфортная школа» предусматривает тотальное оснащение кабинетов интерактивными панелями (Правительство Республики Казахстан, 2022), но, как отмечается в Национальном докладе о состоянии и развитии системы образования РК, несмотря на высокий уровень оснащенности компьютерной техникой, индекс цифровой грамотности педагогов в части методического применения ИКТ остается недостаточным, а интерактивное оборудование часто используется не по назначению (Информационно-аналитический центр, 2024).

На практике дорогостоящие интерактивные панели зачастую функционируют в режиме «дорогостоящего проектора» — лишь для демонстрации статичных слайдов, без использования симуляций или интерактивного моделирования. Исследования использования ИКТ в Казахстане выявляют парадокс: наличие оборудования само по себе не гарантирует его применения. Более того, выявлена статистически значимая отрицательная корреляция ($\beta = -0,09$) между возрастом педагога и использованием цифровых инструментов (Амирова и др., 2023). Преподаватели «старой школы», сформировавшие профессиональную идентичность в доцифровую эпоху, продолжают опираться на вербальные методы, воспринимая цифровую визуализацию как излишество, а не как необходимость.

Таким образом, мы сталкиваемся с «двойным дефицитом»:

- когнитивным: обучающиеся, привыкшие к визуально насыщенной цифровой среде, зачастую испытывают затруднения при восприятии учебного материала в традиционном текстовом формате;

- методическим: имеющаяся цифровая инфраструктура не используется для преодоления «невидимости» химических процессов из-за отсутствия адекватных методических моделей.

Разрешение этого противоречия требует не только оснащения аудиторий новым оборудованием, но и разработки научно обоснованной методической модели, которая помогла бы будущему учителю использовать возможности интерактивных средств для наглядного представления процессов молекулярного уровня.

Проблема цифровизации естественнонаучного образования широко освещается в мировой научной литературе. Анализ исследований последних лет (2021–2025 гг.) позволяет выделить несколько ключевых направлений.

1. Эффективность виртуализации и симуляций. Зарубежные исследователи активно изучают влияние виртуальных лабораторий (VRL) на когнитивные способности студентов. Эмпирическая база современных исследований когнитивных эффектов цифровой визуализации неоднородна и варьируется от классических опросов до аппаратной нейровизуализации. Показательным примером смешанного дизайна (mixed-methods) является работа Carroll и др. (2025), посвященная оценке виртуальных лабораторных симуляций в обучении генетике. Авторы объединили количественный анализ данных 50 магистрантов-биохимиков с качественным методом «мысли вслух» (think-aloud protocols) на подвыборке из 14 человек. Важной методологической находкой стала сегментация студентов по уровню входных знаний (pre-lab quiz scores), что позволило выявить дифференцированную эффективность цифровых инструментов для обучающихся с разным уровнем подготовки.

Теоретическое осмысление когнитивных механизмов иммерсивного обучения представлено в работе Makransky и Petersen (2021). Авторы предлагают Когнитивно-аффективную модель иммерсивного обучения (Cognitive Affective Model of Immersive Learning, CAMIL), обобщающую результаты предшествующих исследований обучения в иммерсивной виртуальной реальности (IVR). В качестве ключевых психологических аффордансов IVR модель выделяет ощущение присутствия (presence) и агентности (agency), а также описывает шесть когнитивно-аффективных факторов, опосредующих результаты обучения: интерес, мотивацию, самооффективность, воплощённость (embodiment), когнитивную нагрузку и саморегуляцию. Модель подчёркивает, что образовательный эффект иммерсивных технологий определяется не самим фактом их применения, а качеством педагогического дизайна, управляющего когнитивной нагрузкой обучающегося.

Однако иммерсивность сама по себе не гарантирует образовательного результата. Систематический обзор исследований по интеграции виртуальных лабораторий в химическое образование показал, что эффект применения VR-сред существенно зависит от качества педагогического дизайна и методической подготовки преподавателя, тогда как избыточная сложность виртуальной среды способна повышать когнитивную нагрузку обучающихся и нивелировать ожидаемый обучающий эффект (Guruloo & Osman, 2023).

Критический дискурс: риски когнитивной перегрузки

Высокий дидактический потенциал цифровой визуализации сопряжен с рисками возникновения когнитивной перегрузки (cognitive overload). Согласно теории когнитивной нагрузки (Cognitive Load Theory, CLT), рабочая память человека имеет жесткие ограничения и способна одновременно оперировать лишь 4–5 единицами новой информации (Sweller, 1988). Насыщенные VR-среды, предлагающие одновременно 3D-графику, пространственный звук и интерактивное управление, могут создавать избыточный «сенсорный шум».

Практическим ограничением выступает сложность интерфейса иммерсивных сред. Систематический обзор исследований по применению технологий дополненной и виртуальной реальности в образовании относит технические и навигационные трудности, а также перегруженность интерфейса к наиболее часто фиксируемым барьерам, которые отвлекают ресурсы внимания обучающихся от собственно учебной задачи (Akcaug & Akcaug, 2017).

Современные нейробиологические данные указывают на нелинейный (перевернутый U-образный) характер связи между когнитивной нагрузкой и нейропластичностью: оптимальные условия для обучения и долговременного потенцирования (LTP) создаются при умеренном уровне нагрузки, тогда как чрезмерные требования к рабочей памяти снижают эффективность нейропластических перестроек и усвоения материала (Gkintoni и др., 2025).

Цифровая визуализация в химическом образовании носит амбивалентный характер. С одной стороны, она компенсирует дефицит ментального воображения у современного студента, создавая сенсорную опору для абстрактных понятий. С другой — при ошибках в педагогическом дизайне она генерирует «постороннюю» (extraneous) когнитивную нагрузку, которая вытесняет «продуктивную» (germane) нагрузку, необходимую для формирования

знаний. Это диктует необходимость создания нейрокогнитивно адаптированных интерфейсов, балансирующих на пике эффективности.

2. Сравнительный анализ форматов обучения. Важно отметить, что научное сообщество избегает идеализации «цифры». Так, мета-анализ 17 исследований, посвященный влиянию виртуальных лабораторий на учебные достижения школьников при изучении химии, зафиксировал значительный положительный эффект ($SMD = 0,98$), подчеркнув при этом зависимость результата от методики включения симуляций в учебный процесс (Castro, 2025). Это согласуется с нашей позицией о том, что цифровая модель должна дополнять, а не заменять реальный химический эксперимент.

3. Цифровая компетентность учителя. Немецкие исследователи в работе «Digital Tools in Secondary Chemistry Education – Added Value or Modern Gimmicks?» смещают фокус с ученика на учителя. На основе качественного интервью-исследования с участием 10 учителей химии средней школы авторы показали, что дидактический потенциал предметно-специфичных цифровых средств (симуляций и анимаций, дополненной реальности, программ цифровой регистрации данных, редакторов молекулярных структур) реализуется только при наличии у педагога соответствующих методических компетенций. Ключевыми барьерами внедрения выступают дефицит времени, высокая учебная нагрузка, состояние инфраструктуры и отсутствие технической поддержки, а также опасение учителей, что цифровые средства вытеснят реальный химический эксперимент (Wolfart и др., 2023).

4. Казахстанский контекст. Отечественные ученые рассматривают проблему через призму специфики образовательной системы Казахстана. Значительный вклад в разработку методики использования цифровых ресурсов внес А.В. Косяков. На примере курса физической и коллоидной химии ими было доказано, что внедрение LMS Moodle в сочетании с интерактивными симуляторами (ChemSketch) позволяет снизить долю академической задолженности студентов с 19% до 7% за счет персонализации темпа обучения (Косяков, 2021).

Психологические аспекты формирования личности будущего специалиста в цифровой среде раскрываются в трудах Б.А. Матаева и К.К. Шалғынбаевой. Авторы отмечают, что внедрение курса виртуальных лабораторий способствует формированию позитивного профессионального Я-концепта у 78% студентов-химиков (Матаев & Шалғынбаева, 2022).

Вопросы преемственности «Вуз – Школа» поднимаются в работе Ж. Бахаровой и соавторов. Исследователи подчеркивают прикладной характер проблемы: применение PhET-симуляций и мобильных приложений в структуре интегративных уроков повышает устойчивую мотивацию школьников к изучению химии на 26%, что диктует новые требования к методической подготовке студентов педвузов (Бахарова и др., 2022).

Актуальность разработанной методической модели цифровизации химического образования подтверждается ее соответствием ключевым программным документам Республики Казахстан. Исследование лежит в русле «Концепции развития дошкольного, среднего, технического и профессионального образования РК на 2023–2029 годы». Данный документ постулирует масштабную модернизацию инфраструктуры, предусматривающую открытие 7000 предметных кабинетов новой формации (робототехники, химии, биологии, STEM) (Правительство Республики Казахстан, 2023a). Однако само по себе наличие высокотехнологичного оборудования требует адекватного методического сопровождения, учитывающего требования эргономики и когнитивной безопасности обучающихся, что является одним из фокусов нашей модели.

Важным вектором является корреляция с «Концепцией развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023–2029 годы», где в качестве целевого индикатора зафиксировано достижение 100% готовности вузов к инклюзивному образованию к 2026 году (Правительство Республики Казахстан, 2023b). Предлагаемый нами нейрокогнитивный подход расширяет понимание инклюзии: он предполагает адаптацию учебного процесса не только под физические возможности, но и под когнитивные особенности студентов (включая

специфику восприятия поколения Z/Alpha), обеспечивая персонализацию образовательных траекторий.

Анализ «Атласа новых профессий и компетенций Казахстана» демонстрирует фундаментальную трансформацию рынка труда. Появление таких специальностей, как «разработчик смарт-систем», «специалист по виртуальному прототипированию» и «аналитик Big Data», свидетельствует о смене профессиональной парадигмы (Министерство труда и социальной защиты населения РК, б. д.). Традиционные инженерно-технические роли эволюционируют: современный специалист химического профиля обязан владеть навыками работы с «цифровыми двойниками» (digital twins) и системами VR-визуализации. Эти компетенции невозможно сформировать в рамках устаревшей лекционно-семинарской системы, что диктует необходимость внедрения иммерсивных технологий в подготовку педагогов.

В этом контексте важно определить место данного исследования относительно работ предшественников. Если исследования А.В. Косякова (2021) и Б.А. Матаева (Матаев & Шалғынбаева, 2022) вносили вклад в цифровизацию отдельных дисциплин и локальных курсов, то предлагаемая нами модель претендует на системный уровень. Мы предлагаем не точечное использование цифровых инструментов, а комплексную нейропедагогическую экосистему, трансформирующую саму логику подготовки учителя химии.

Таким образом, данная работа выполняет социальный и государственный заказ на подготовку кадрового потенциала для цифровой экономики, предлагая методологическое решение для преодоления разрыва между институциональной инерцией образования и динамичными требованиями рынка труда.

Несмотря на наличие фундаментальных работ, анализ литературы выявил пробел: большинство исследований фокусируются либо на инструментах (как работает программа), либо на психологии (как чувствует себя студент), но недостаточно работ, предлагающих целостную методическую модель подготовки, которая объединяла бы предметные, методические и цифровые компоненты в единую систему.

Целью настоящего исследования является теоретическое обоснование, разработка и экспериментальная проверка методической модели подготовки будущих учителей химии в условиях цифровизации образования. В рамках профессиональной подготовки студентов образовательной программы «Химия» (объект исследования) авторы фокусируются на процессе формирования профессионально-цифровых компетенций посредством внедрения разработанной модели (предмет исследования). В основу работы положена исследовательская гипотеза о том, что качество подготовки педагогов повысится при реализации подхода, интегрирующего виртуальные и реальные формы химического эксперимента, что обеспечит синхронное развитие предметных знаний и навыков цифровой дидактики. Для верификации данного предположения была выстроена логика исследования, включающая уточнение сущности понятия «профессионально-цифровая компетентность», проектирование структурно-содержательной модели и выявление педагогических условий ее реализации с последующей проверкой эффективности в ходе экспериментальной работы. Статья построена следующим образом: во введении обосновывается актуальность и анализируется степень разработанности проблемы; в разделе «Методы и материалы» описываются дизайн эксперимента, выборка, содержание спецкурса и диагностический инструментарий; в разделе «Результаты и их обсуждение» приводятся данные констатирующего и контрольного срезов и их интерпретация; в заключении формулируются выводы, ограничения и перспективы исследования.

Методы и материалы

Исследование проводилось в рамках смешанного подхода (mixed-methods research), сочетающего теоретическое моделирование и квазиэкспериментальную проверку. Опытно-экспериментальная работа осуществлялась в период 2024–2025 учебного года на базе Южно-Казахстанского исследовательского университета имени М. Ауэзова (г. Шымкент, Республика

Казахстан) — крупного регионального многопрофильного университета южного региона страны. Участниками исследования выступили студенты бакалавриата, обучающиеся по образовательной программе подготовки учителей химии.

Эксперимент включал три последовательных этапа:

- констатирующий этап: диагностика исходного уровня цифровой компетентности студентов, определение контрольной и экспериментальной групп;
- формирующий этап: внедрение авторской методической модели и спецкурса «Цифровые технологии в обучении химии» в учебный процесс экспериментальной группы;
- контрольный этап: повторная диагностика, статистическая обработка и интерпретация полученных данных.

Выборка составила $n = 60$ студентов бакалавриата (3–4 курс), обучающихся по образовательной программе «6В015 – Подготовка учителей химии».

Для соблюдения принципа рандомизации участники были разделены на две группы:

- экспериментальная группа (ЭГ, $n = 30$): обучение велось с применением разработанной гибридной модели;
- контрольная группа (КГ, $n = 30$): обучение проходило в традиционном формате (лекционно-семинарская система, реальный лабораторный практикум без предварительного виртуального моделирования).

До начала эксперимента проверка по t -критерию Стьюдента для независимых выборок показала отсутствие статистически значимых различий между группами ($p > 0,05$), что подтверждает гомогенность выборки и валидность условий эксперимента.

Этические аспекты исследования были соблюдены. Участие в эксперименте было добровольным; все участники были проинформированы о целях и порядке проведения исследования и дали согласие на обработку данных (informed consent). Персональные данные участников не раскрывались, результаты обрабатывались анонимно, в обобщенном виде и использовались исключительно в научно-исследовательских целях.

Практическая реализация государственной «Концепции развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023–2029 годы» (Правительство Республики Казахстан, 2023b) нашла отражение в обновлении образовательных программ ведущих педагогических вузов страны. В частности, в учебные планы КазНПУ им. Абая, ЮКГПУ и Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова интегрирован специализированный курс «Цифровые технологии в обучении химии» (QyzPU, б. д.). Дисциплина объемом 5 академических кредитов (150 часов) построена на паритетном сочетании аудиторной (60 часов) и самостоятельной работы (90 часов), что позволяет сформировать устойчивые методико-технологические компетенции. Структурно-содержательная модель курса включает три взаимосвязанных модуля, последовательно усложняющих уровень цифровой трансформации педагогической деятельности.

Модуль 1. Развитие репрезентативной компетентности: от 2D к 3D визуализации (18 аудиторных часов).

Первый блок направлен на преодоление абстрактности химического знания через освоение инструментов молекулярного моделирования. Базовым инструментарием выступает программный комплекс ChemSketch, позволяющий студентам осуществить концептуальный переход от плоскостных структурных формул к объемным пространственным моделям. Практический компонент модуля предполагает создание библиотеки 3D-моделей органических соединений, иллюстрирующих различные виды изомерии, а также разработку анимационных сценариев механизмов реакций (например, SN_2 -замещение или электрофильное ароматическое замещение). Итоговым квалификационным заданием выступает проектирование электронного учебного модуля по теме «Стереохимия», включающего не менее 15 интерактивных 3D-объектов, что способствует развитию пространственного мышления будущих педагогов (Бексултан & Жаксибаева, 2024).

Модуль 2. Дидактика виртуального эксперимента и симуляций (24 аудиторных часа).

Центральное место в курсе отводится методике работы с виртуальными образовательными средами (PhET, Labster). Данный модуль решает двойную задачу: формирование навыков проведения безопасного эксперимента и адаптация учебного процесса под когнитивные особенности поколений Z и Alpha. Студенты реализуют серию из 8 виртуальных лабораторных работ по общей и неорганической химии (включая титрование и электрохимию), а также моделируют эксперименты с токсичными и взрывоопасными веществами, недоступные в условиях школьной лаборатории. Особый акцент делается на педагогическом дизайне: обучающиеся разрабатывают методические карты уроков с интеграцией симуляций и готовят рефлексивные отчеты, анализируя дидактические преимущества визуализации «невидимых» процессов.

Модуль 3. Проектирование цифровой образовательной среды и оценивание (18 аудиторных часов).

Завершающий модуль ориентирован на освоение систем управления обучением (LMS Moodle и аналоги). Здесь формируются компетенции в области архитектуры электронных курсов и цифрового оценивания. Студенты осваивают технологии создания адаптивного контента и автоматизированного тестового контроля различных модификаций. В качестве интегративного практического задания выступает разработка прототипа дистанционного курса (на примере раздела «Химическая технология», трудоемкостью 108 часов), содержащего полный методический шлейф: от лекционного материала до глоссария и банка тестовых заданий (Карманова и др., 2024). Финальный проект курса предполагает создание комплексного цифрового образовательного ресурса (ЦОР), синтезирующего технологии визуализации, симуляции и LMS, с обязательным обоснованием его эффективности с позиции теории когнитивной нагрузки.

Для детальной иллюстрации процессуального компонента модели рассмотрим сценарий лабораторного занятия по теме «Кинетика химических реакций: влияние температуры и концентрации», реализованного в Экспериментальной группе (ЭГ). Занятие строилось по технологии «перевернутого класса» (flipped classroom) с интеграцией виртуального пре-лабинга.

Этап 1. Pre-lab (Асинхронный дистанционный этап).

За 3 дня до аудиторного занятия студенты получали доступ к учебному модулю в LMS Moodle. Их задача заключалась в формировании теоретического базиса до прихода в лабораторию.

Когнитивная активность: просмотр интерактивной видеолекции (15 минут) с встроенными триггер-вопросами о законе действующих масс и правиле Вант-Гоффа.

Виртуальный пре-лабинг: студентам предлагалось пройти первичную симуляцию в среде PhET Interactive Simulations («Reactions & Rates»), чтобы визуализировать механизм столкновений молекул. Это позволяло сформировать ментальную модель процесса на микроуровне без риска реальных ошибок.

Контроль: выполнение входного тестирования (Quiz), результаты которого преподаватель анализировал перед занятием для корректировки сценария.

Этап 2. In-class (Синхронный аудиторный этап).

Аудиторное занятие (90 минут) было освобождено от лекционного материала и полностью посвящено исследовательской деятельности в гибридном формате.

Экспериментальная серия 1 (in silico): студенты работали в парах с профессиональным симулятором Labster. Задача: смоделировать реакцию разложения пероксида водорода при критических температурах (80–100°C), проведение которой в учебной лаборатории небезопасно. Студенты самостоятельно задавали параметры, фиксировали скорость выделения кислорода и строили кинетические кривые в режиме реального времени.

Экспериментальная серия 2 (hands-on): используя данные симуляции как прогнозную модель, студенты проводили реальный эксперимент с безопасными реагентами (реакция тиосульфата натрия с серной кислотой) для верификации компьютерных данных.

Педагогическая рефлексия: будучи будущими учителями, студенты анализировали не только химизм процесса, но и методику: какие концептуальные ошибки (misconceptions) помогает устранить визуализация столкновений частиц в PhET.

Этап 3. Post-lab (Аналитико-результативный этап).

После занятия студенты загружали в LMS Moodle цифровой отчет, который включал не только графики и расчеты, но и сравнительный анализ: «Виртуальная модель vs Реальный эксперимент».

Групповая дискуссия: на форуме курса обсуждались причины расхождения идеальной модели (симуляция) и реальных данных (погрешность оборудования, примеси).

Продукт деятельности: в качестве творческого задания студенты разрабатывали фрагмент технологической карты школьного урока, предлагая методику использования данной симуляции для объяснения темы ученикам 9-го класса.

Таким образом, данный сценарий демонстрирует переход от пассивного потребления информации к активному конструированию знаний, где цифровой инструмент выступает не иллюстрацией, а средством исследовательского поиска.

Формирование инструментального кластера спецкурса (ACD/ChemSketch и Labster) базировалось на триединстве педагогической целесообразности, экономической доступности и соответствия нейрокогнитивным особенностям целевой аудитории.

1. ACD/ChemSketch (Развитие пространственно-структурного мышления).

В качестве базового инструмента для молекулярного моделирования выбран редактор ACD/ChemSketch Freeware (ACD/Labs). Данное ПО, доступное на безвозмездной основе для академических целей, зарекомендовало себя как отраслевой стандарт с пользовательской базой, превышающей 2 миллиона специалистов (ACD/Labs, 2023). Дидактический потенциал программы реализуется через следующие функции:

Снижение когнитивной нагрузки: Интуитивная архитектура интерфейса, отмечаемая экспертами как ключевое преимущество, позволяет минимизировать технические барьеры входа. Функция автоматической валидации валентности (автозаполнение атомами водорода) и превентивная блокировка химически невозможных структур (например, пентавалентного углерода) действуют как «цифровой тьютор», позволяя студенту сосредоточиться на концептуальной сути строения вещества, а не на техническом черчении.

Визуализация абстракций: встроенный модуль 3D-просмотра обеспечивает мгновенную трансляцию двумерных схем в трехмерные объекты. Это компенсирует дефицит пространственного воображения у современных студентов, позволяя наглядно демонстрировать стереохимические эффекты и хиральность. Как отмечает профессор Д. Дубинс (University of Toronto), визуализация трансформирует абстрактное знание в перцептивно доступную форму, повышая прогностические способности обучающихся в отношении реакционной способности молекул (ACD/Labs, 2023).

Формирование «химического интеллекта»: Программная логика, распознающая тождественность различных графических репрезентаций одной и той же молекулы (например, конформеров метана), способствует переходу от репродуктивного запоминания формул к глубокому концептуальному пониманию строения вещества.

2. Labster (Развитие процедурной и исследовательской компетентности).

Если ChemSketch ориентирован на микроуровень (молекулу), то платформа виртуальных симуляций Labster обеспечивает отработку макропроцессов. Методология платформы, основанная на принципах авиационных тренажеров, доказала свою эффективность в формировании процедурной точности (Labster, б. д.).

Безопасная исследовательская среда: симуляции позволяют моделировать высокорисковые сценарии (работу с токсичными газами, экзотермическими реакциями) в контролируемых цифровых условиях. Для образовательной системы Казахстана это решает проблему дефицита дорогостоящих реактивов и оборудования.

Нейрокогнитивное подкрепление: система обеспечивает мгновенную обратную связь (immediate feedback) на каждое действие студента, что коррелирует с потребностью поколения Z в быстрой валидации результатов и ускоряет формирование нейронных связей.

Проблемно-ориентированное обучение (PBL): в отличие от линейных алгоритмов, сценарии Labster (например, симуляция «Терморегуляция») строятся на принципах inquiry-based learning. Наличие множества путей решения проблемы стимулирует критическое мышление и исследовательский поиск, исключая механическое воспроизведение инструкций.

Мультимодальность: интеграция текстовых, визуальных и кинестетических (через манипуляции мышью) каналов восприятия обеспечивает персонализацию обучения для студентов с различными когнитивными стилями.

Сравнительная характеристика дидактического потенциала

Для обоснования комплексного использования выбранных инструментов проведен сравнительный анализ их функционала (Таблица 1).

Таблица 1

Матрица компетенций, формируемых программными средствами спецкурса

Программное средство	Доминирующая компетенция	Дидактический механизм воздействия	Тип учебных задач
ACD/ChemSketch	Пространственно-визуальная (Spatial-visual competence)	Экстернализация ментальных образов, снижение нагрузки при ментальной ротации объектов	3D-моделирование, стереохимический анализ, конструирование реакционных схем
Labster	Операционально-процедурная (Operational-procedural competence)	Формирование процедурной памяти через вариативное повторение и мгновенную коррекцию ошибок	Виртуальный эксперимент, проверка гипотез, анализ экспериментальных данных

Таким образом, интеграция ChemSketch и Labster позволяет реализовать системный подход, охватывающий как структурный, так и процессуальный уровни химии. В отличие от локальных решений, описанных в работах А.В. Косякова (2021) и Б.А. Матаева (Матаев & Шалғынбаева, 2022), предлагаемая модель обеспечивает целостность цифровой подготовки учителя, соединяя теоретическое моделирование с виртуальной практикой (Рисунок 1).

В Контрольной группе (КГ) изучение аналогичных тем проводилось с использованием стандартных методических пособий, статических схем и традиционного лабораторного оборудования.

Для оценки эффективности модели была разработана критериально-уровневая шкала, включающая три компонента профессионально-цифровой компетентности:

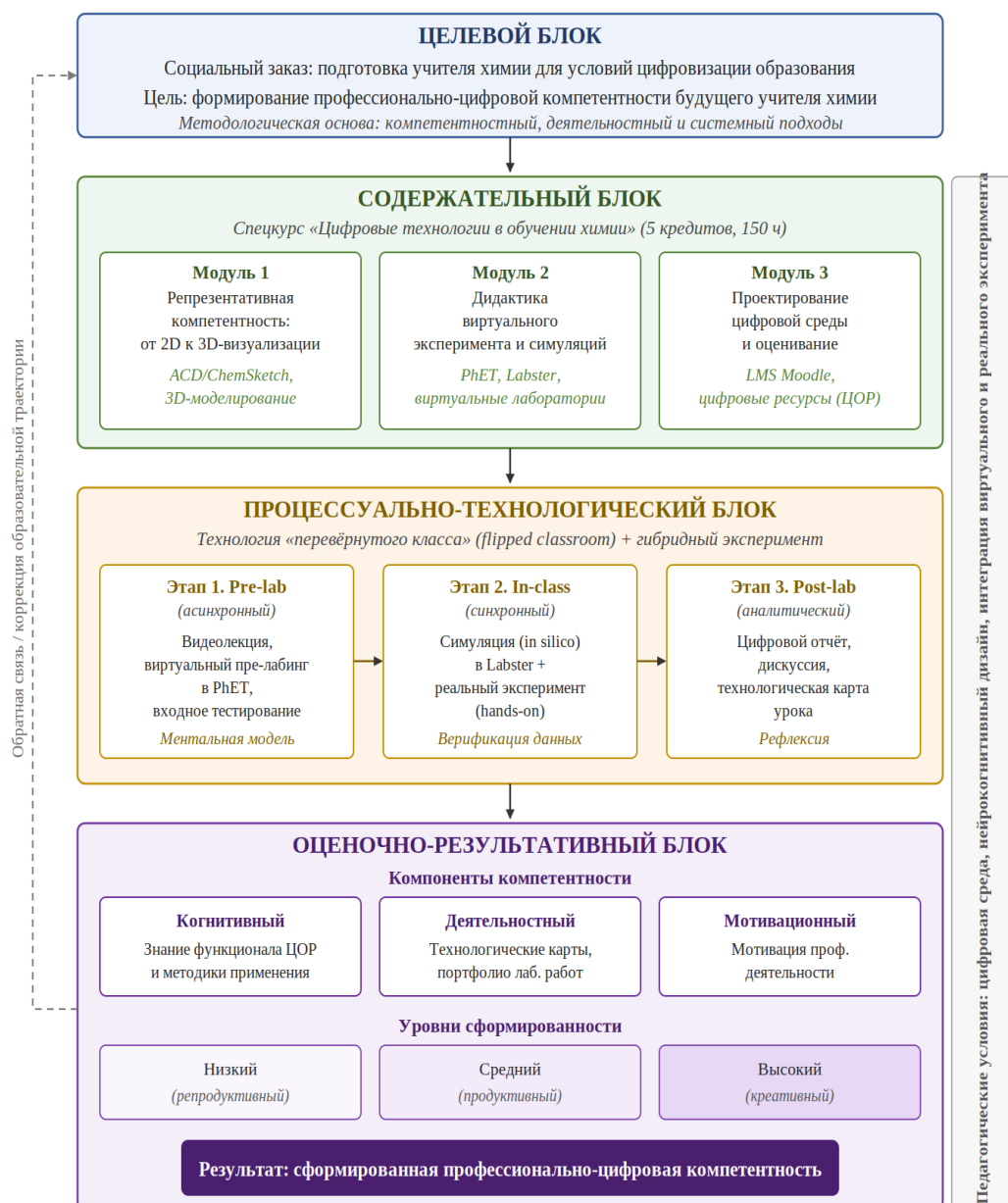
– когнитивный компонент: оценивался посредством авторского тестирования (30 вопросов), направленного на знание функционала цифровых образовательных ресурсов (ЦОР) и методики их применения. Коэффициент надежности теста (альфа Кронбаха) составил 0,82. Для исключения эффекта запоминания на контрольном этапе использовалась изоморфная версия теста, валидизированная методом экспертных оценок;

– деятельностный компонент: оценивался через анализ продуктов деятельности — разработанных студентами технологических карт уроков химии с использованием ИКТ и портфолио виртуальных лабораторных работ;

– мотивационный компонент: определялся с помощью адаптированной методики «Мотивация профессиональной деятельности» (К. Замфир в модификации А. Реана).

Рисунок 1

Структурно-функциональная модель формирования профессионально-цифровой компетентности



Для качественной интерпретации результатов диагностики была разработана детальная характеристика уровней сформированности компетентности. Градация производилась по принципу усложнения деятельности: от репродуктивного использования софта до творческого методического конструирования.

1. Низкий уровень (Репродуктивно-ознакомительный).

Характеризуется фрагментарными знаниями о возможностях цифровых образовательных ресурсов. Студент владеет базовым функционалом программного обеспечения (набор формул в ChemSketch, запуск готовой симуляции), но применяет его исключительно по прямому указанию преподавателя. Деятельность носит исполнительский характер: будущий учитель не видит методической целесообразности использования ИКТ, воспринимая их как «развлекательный» элемент или замену меловой доски. Навыки адаптации цифрового контента под когнитивные особенности учеников отсутствуют. В мотивационном аспекте преобладает внешний локус контроля (изучение технологий только ради сдачи зачета).

2. Средний уровень (Продуктивно-технологический).

Предполагает наличие системных знаний о дидактическом потенциале виртуальных лабораторий и систем LMS. Студент способен самостоятельно отобрать цифровой инструмент (PhET, Labster) адекватно учебной задаче стандартного типа (например, «визуализировать строение атома»). Владеет алгоритмами работы в специализированном ПО, умеет встраивать готовые цифровые объекты в структуру урока. Однако деятельность ограничена использованием шаблонных решений; студент испытывает затруднения при необходимости модификации ресурса или его применении в нестандартной учебной ситуации (например, в инклюзивном классе). Мотивация носит осознанный профессиональный характер.

3. Высокий уровень (Креативно-методический).

Характеризуется свободным владением цифровой дидактикой. Студент не просто использует готовые решения, но способен трансформировать и создавать новый образовательный контент: разрабатывать авторские курсы в Moodle, конструировать сложные сценарии в конструкторах симуляций, создавать 3D-анимации механизмов реакций. Ключевой маркер высокого уровня — способность к педагогической рефлексии: студент может обосновать выбор того или иного инструмента (VR, AR, симуляция) с позиции теории когнитивной нагрузки и психофизиологии восприятия. Проявляет устойчивую потребность в саморазвитии в сфере EdTech и готовность к трансляции опыта.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета IBM SPSS Statistics v.26. Описательная статистика включала расчет среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD). Для проверки гипотезы о достоверности различий между группами применялся t -критерий Стьюдента (Student's t -test). Различия считались статистически значимыми при уровне достоверности $p \leq 0,05$. Также рассчитывался размер эффекта (Cohen's d) для оценки педагогической значимости вмешательства.

Результаты и их обсуждение

В ходе констатирующего этапа эксперимента была проведена входящая диагностика уровня сформированности профессионально-цифровой компетентности студентов обеих групп. Анализ полученных данных (Таблица 2) показал, что на начальном этапе студенты демонстрировали преимущественно низкий и средний уровни владения методикой использования цифровых инструментов. Средний балл в Экспериментальной группе (ЭГ) составил 62,4 балла, в Контрольной группе (КГ) — 63,1 балла (по 100-балльной шкале). Расчет t -критерия Стьюдента ($t_{\text{эм}} = 0,34$; $p > 0,05$) подтвердил отсутствие статистически значимых различий между группами до начала эксперимента.

Таблица 2

Сравнительный анализ результатов диагностики на констатирующем этапе

Группа	n	M	SD	t -критерий
Экспериментальная (ЭГ)	30	62,4	8,12	$t = 0,34$ $p > 0,05$
Контрольная (КГ)	30	63,1	7,95	

Примечание. ЭГ — экспериментальная группа; КГ — контрольная группа; n — объём выборки; M — среднее значение; SD — стандартное отклонение; t — эмпирическое значение t -критерия Стьюдента; p — уровень статистической значимости.

После внедрения авторской методической модели, включающей работу с виртуальными лабораториями (PhET, Labster) и спецкурс по цифровой дидактике, была проведена повторная диагностика (Таблица 3).

Результаты контрольного этапа демонстрируют выраженную положительную динамику в Экспериментальной группе. Средний показатель сформированности компетенций в ЭГ вырос до 81,5 баллов, в то время как в КГ, обучавшейся по традиционной методике, прирост оказался менее значительным (до 68,2 баллов).

Таблица 3*Результаты контрольного среза после завершения эксперимента*

Группа	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> -критерий
Экспериментальная (ЭГ)	30	81,5	6,45	$t = 7,59$
Контрольная (КГ)	30	68,2	7,10	$p < 0,01$

Примечание. ЭГ — экспериментальная группа; КГ — контрольная группа; *n* — объём выборки; *M* — среднее значение; *SD* — стандартное отклонение; *t* — эмпирическое значение *t*-критерия Стьюдента; *p* — уровень статистической значимости.

Статистический анализ с использованием *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок показал, что полученное эмпирическое значение $t_{\text{эм}} = 7,59$ значительно превышает критическое значение $t_{\text{кр}} = 2,66$ (при $p \leq 0,01$). Это позволяет утверждать, что различия между группами являются статистически достоверными и обусловлены внедрением разработанной методической модели.

Размер эффекта, рассчитанный по формуле Коэна, составил $d = 1,96$, что соответствует большому эффекту вмешательства (по классификации Дж. Коэна значения $d \geq 0,8$ интерпретируются как большие). Таким образом, зафиксированные различия имеют не только статистическую, но и практическую педагогическую значимость.

Анализ компонентного состава компетентности выявил наибольший прирост по деятельностному критерию (+24%).

Зафиксированная позитивная динамика (+24%) по деятельностному критерию свидетельствует о качественной трансформации методического мышления студентов Экспериментальной группы (ЭГ). Если на констатирующем этапе при разработке планов-конспектов доминировала стратегия «репродуктивного заимствования» (копирование готовых сценариев из открытых интернет-источников без критического осмысления), то на контрольном этапе зафиксирован переход к авторскому педагогическому проектированию.

Наибольший прогресс отмечен в навыке конструирования технологических карт уроков. Студенты ЭГ продемонстрировали способность не просто включать цифровой ресурс в структуру занятия как «иллюстрацию», а выстраивать вокруг него поисковую деятельность учащихся. Например, вместо пассивной демонстрации видеоролика о скорости реакции, будущие учителя проектировали сценарии, где школьники должны были самостоятельно изменить параметры температуры в симуляции Labster, собрать данные и сформулировать правило Вант-Гоффа.

Этот сдвиг от «потребителя контента» к «архитектору образовательной среды» подтверждается анализом портфолио: 87% студентов ЭГ успешно интегрировали в свои разработки элементы AR/VR и методы активного обучения (PBL, Inquiry-based learning), в то время как в Контрольной группе (КГ) этот показатель не превысил 15%, а большинство работ сохранило традиционную объяснительно-иллюстративную структуру.

Обсуждение результатов. Полученные данные подтверждают выдвинутую гипотезу и коррелируют с результатами ряда международных исследований, однако имеют свою специфику.

Во-первых, зафиксированный нами рост показателей в ЭГ согласуется с выводами Carroll и др. (2025), которые указывали на эффективность симуляторов в снижении когнитивной нагрузки при изучении сложных лабораторных методик. В нашем случае использование виртуального пре-лабинга (pre-lab) позволило студентам совершать меньше ошибок при проведении реального химического эксперимента, что подтверждает тезис о синергии виртуального и реального.

Во-вторых, качественный анализ мотивационных анкет показал рост интереса к педагогической деятельности. Это перекликается с результатами исследования Б.А. Матаева и К.К. Шалгынбаевой (2022), где отмечалось повышение профессиональной самооценки (self-efficacy) студентов. Наши данные дополняют их выводы:

уверенность будущих учителей базируется на владении конкретным инструментарием (ChemSketch, Moodle), что снижает страх перед «цифровым разрывом» со школьниками.

Количественные показатели прироста компетентности находят подтверждение в качественном анализе обратной связи, полученной в ходе фокус-групповых интервью по завершении эксперимента. Субъективная оценка студентов Экспериментальной группы (ЭГ) свидетельствует о преодолении когнитивных барьеров, связанных с абстрактностью химической теории.

Респонденты отметили, что динамическая визуализация стала ключевым фактором в понимании сложных механизмов. Как указал один из студентов 4-го курса:

«До спецкурса я заучивал механизмы органических реакций механически, не понимая сути. Работа с 3D-симулятором позволила мне буквально “увидеть” стерические препятствия при атаке нуклеофила. То, что было непонятной схемой в учебнике, стало логичным физическим процессом».

Другой важный аспект, выявленный в ходе рефлексии, — снижение профессиональной тревожности («технофобии») перед выходом на педагогическую практику. Студенты отмечали рост уверенности в собственной цифровой грамотности. Цитата из эссе респондента:

«Раньше я боялся, что современные школьники разбираются в технике лучше меня, и я буду выглядеть некомпетентно у интерактивной доски. Теперь, имея банк собственных виртуальных лабораторных работ в Labster, я чувствую, что мне есть чем удивить и увлечь класс. Я чувствую себя экспертом, а не просто транслятором учебника».

Такая обратная связь подтверждает, что внедренная модель не только формирует инструментальные навыки, но и меняет профессиональное самосознание (professional identity) будущего учителя, трансформируя страх перед цифровизацией в ресурс для развития.

В-третьих, полученные нами данные конкретизируют выводы мета-анализа Castro (2025) о результативности виртуальных лабораторий: максимальный эффект в нашем эксперименте был достигнут не за счет замены реального опыта виртуальным, а за счет их интеграции (blended approach), при которой симуляция выполняла функцию тренажера на этапе пре-лабинга. Это подтверждает позицию А.В. Косякова (2021) о необходимости адаптации зарубежных цифровых практик к реалиям образовательного процесса постсоветского пространства.

Заключение

Проведенное исследование позволило решить поставленную задачу по модернизации процесса профессиональной подготовки будущих учителей химии. В ходе работы была теоретически обоснована, разработана и апробирована методическая модель, основанная на принципе конвергенции (сближения) традиционного химического эксперимента и цифровых образовательных технологий.

Полученные эмпирические данные подтверждают выдвинутую гипотезу: качество подготовки педагога существенно возрастает при условии системного внедрения виртуальных симуляций (PhET, Labster) на этапе предлабораторной подготовки (pre-lab). Это обеспечивает не только рост предметных знаний, но и формирование специфических цифровых компетенций, необходимых учителю в условиях современной школы.

Научная новизна исследования заключается в уточнении содержания профессионально-цифровой компетентности учителя химии и определении педагогических условий ее формирования в гибридной среде. Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанного спецкурса и банка виртуальных лабораторных работ при обновлении образовательных программ педагогических вузов Республики Казахстан.

Следует отметить, что исследование проводилось на выборке студентов одного университета (Южно-Казахстанского исследовательского университета имени М. Ауэзова), что накладывает определенные ограничения на генерализацию выводов. Кроме того, эксперимент не оценивал долгосрочное сохранение знаний (retention rate) спустя год после завершения курса, что может стать перспективой для дальнейших исследований.

Перспективы дальнейших исследований авторы связывают с изучением эффективности технологий дополненной реальности (AR) при преподавании разделов органической химии и разработкой адаптивных алгоритмов обучения на базе искусственного интеллекта.

Список использованной литературы

- Амирова, А., Нурумов, К., Каса, Р., Ахметжанова, А., & Кузеева, А. (2023). Влияние цифрового разрыва на синхронное онлайн-обучение в Казахстане в период закрытия школ во время пандемии COVID-19. *Frontiers in Education*, 7, 1083651. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.1083651>
- Бахарова, Ж., Сагимбаева, А., & Каражанова, Д. (2022). Формирование мотивации школьников через метод интегративного обучения химии. *Вестник КазНПУ им. Абая. Серия «Педагогические науки»*, 2(74), 25–34.
- Бексултан, Б. Б., & Жаксимаева, Ж. М. (2024). Аспекты использования цифровых технологий в общеобразовательных школах. *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Педагогические науки*, 82(2), 342–352. <https://bulletin-pedagogy.kaznpu.kz/index.php/ped/article/view/3387>
- Информационно-аналитический центр. (2024). *Национальный доклад о состоянии и развитии системы образования Республики Казахстан (по итогам 2023 года)*. <https://iac.kz/>
- Карманова, А., Мадыбекова, Г., Кавак, Н., Уалиханова, Б., Жарылкасын, А., & Умарова, Ж. (2024). Развитие профессиональной компетентности будущих учителей химии с помощью цифровых технологий: тематическое исследование Казахстана. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(8), 1119–1126. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.8.2140>
- Косяков, А. В. (2021). Использование электронного обучения и дистанционных технологий в образовательной практике вуза. *Вестник Карагандинского университета. Серия «Химия»*, 4(104), 18–24.
- Матаев, Б. А., & Шалғынбаева, К. К. (2022). Особенности формирования концепции «Я» студентов с использованием цифровых технологий в период пандемии Covid-19. *Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилева. Серия: Педагогика. Психология. Социология*, 2(139), 56–65.
- Министерство труда и социальной защиты населения РК. (б. д.). *Атлас новых профессий и компетенций Казахстана*. <https://enbek.kz/atlas/>
- Правительство Республики Казахстан. (2022). *Постановление № 963 «Об утверждении пилотного национального проекта в области образования «Комфортная школа»»*. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36827688
- Правительство Республики Казахстан. (2023a). *Постановление № 249 «Об утверждении Концепции развития дошкольного, среднего, технического и профессионального образования РК на 2023–2029 годы»*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000249>
- Правительство Республики Казахстан. (2023b). *Постановление № 248 «Об утверждении Концепции развития высшего образования и науки в РК на 2023–2029 годы»*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000248>
- Юсупова, С. (2020). Вызовы и возможности цифровизации образования в Казахстане. *Путь науки*, 6(10), 4001–4008.
- ACD/Labs. (2023, September 7). *Advancing chemistry education with ChemSketch*. <https://www.acdlabs.com/blog/advancing-chemistry-education-with-chemsketch/>
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Carroll, J. S., Najafi, H., & Steiner, M. (2025). Evaluating the effectiveness of virtual laboratory simulations for graduate-level training in genetic methodologies. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 53(4), 422–432. <https://doi.org/10.1002/bmb.21898>
- Castro, R. (2025). The effects of chemistry virtual laboratories in academic achievement of secondary level learners: A meta-analysis. *Integrated Science Education Journal*, 6(1), 24–37. <https://doi.org/10.37251/isej.v6i1.1379>

- Gkintoni, E., Sortwell, A., Vassilopoulos, S. P., & Nikolaou, G. (2025). Neuroplasticity-informed learning under cognitive load: A systematic review of functional imaging, brain stimulation, and educational technology applications. *Multimodal Technologies and Interaction*, 10(1), 5. <https://doi.org/10.3390/mti10010005>
- Guruloo, T. N. M., & Osman, K. (2023). Integrating virtual reality laboratories (VRLs) in chemistry education: A systematic literature review. *International Journal of Education*, 15(4), 127–142. <https://doi.org/10.5296/ije.v15i4.21372>
- Labster. (б. д.). *The lab experience is simulated, but the research is real*. Retrieved February 10, 2026, from <https://www.labster.com/blog/research-story>
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- QyzPU. (б. д.). *Каталог элективных дисциплин бакалавриата*. <https://qyzpu.edu.kz/ru/obrazovatelnie-programmi-bakalavriata>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Wolfart, O., Wagner, A. L., & Wagner, I. (2023). Digital tools in secondary chemistry education – added value or modern gimmicks? *Frontiers in Education*, 8, 1197296. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1197296>

References

- ACD/Labs. (2023, September 7). *Advancing chemistry education with ChemSketch*. <https://www.acdlabs.com/blog/advancing-chemistry-education-with-chemsketch/>
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Amirova, A., Nurumov, K., Kasa, R., Akhmetzhanova, A., & Kuzekova, A. (2023). The impact of the digital divide on synchronous online teaching in Kazakhstan during COVID-19 school closures. *Frontiers in Education*, 7, 1083651. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1083651>
- Bakharova, Zh., Sagimbaeva, A., & Karazhanova, D. (2022). Formirovanie motivatsii shkol'nikov cherez metod integrativnogo obucheniya khimii [Forming schoolchildren's motivation through the method of integrative chemistry teaching]. *Vestnik KazNPU im. Abaya. Seriya «Pedagogicheskie nauki»*, 2(74), 25–34. [in Russian]
- Beksultan, B. B., & Zhaksibaeva, Zh. M. (2024). Aspekty ispol'zovaniya tsifrovyykh tekhnologiy v obshcheobrazovatel'nykh shkolakh [Aspects of using digital technologies in secondary schools]. *Vestnik KazNPU imeni Abaya. Seriya: Pedagogicheskie nauki*, 82(2), 342–352. <https://bulletin-pedagogy.kaznpu.kz/index.php/ped/article/view/3387> [in Russian]
- Carroll, J. S., Najafi, H., & Steiner, M. (2025). Evaluating the effectiveness of virtual laboratory simulations for graduate-level training in genetic methodologies. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 53(4), 422–432. <https://doi.org/10.1002/bmb.21898>
- Castro, R. (2025). The effects of chemistry virtual laboratories in academic achievement of secondary level learners: A meta-analysis. *Integrated Science Education Journal*, 6(1), 24–37. <https://doi.org/10.37251/isej.v6i1.1379>
- Gkintoni, E., Sortwell, A., Vassilopoulos, S. P., & Nikolaou, G. (2025). Neuroplasticity-informed learning under cognitive load: A systematic review of functional imaging, brain stimulation, and educational technology applications. *Multimodal Technologies and Interaction*, 10(1), 5. <https://doi.org/10.3390/mti10010005>
- Government of the Republic of Kazakhstan. (2022). *Postanovlenie № 963 «Ob utverzhdenii pilotnogo natsional'nogo proekta v oblasti obrazovaniya «Komfortnaya shkola»»* [Resolution No. 963 on the approval of the pilot national education project “Comfortable School”]. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36827688 [in Russian]

- Government of the Republic of Kazakhstan. (2023a). *Postanovlenie № 249 «Ob utverzhdenii Kontseptsii razvitiya doshkol'nogo, srednego, tekhnicheskogo i professional'nogo obrazovaniya RK na 2023–2029 gody»* [Resolution No. 249 on the approval of the Concept for the development of preschool, secondary, technical and vocational education of the RK for 2023–2029]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000249> [in Russian]
- Government of the Republic of Kazakhstan. (2023b). *Postanovlenie № 248 «Ob utverzhdenii Kontseptsii razvitiya vysshego obrazovaniya i nauki v RK na 2023–2029 gody»* [Resolution No. 248 on the approval of the Concept for the development of higher education and science in the RK for 2023–2029]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000248> [in Russian]
- Guruloo, T. N. M., & Osman, K. (2023). Integrating virtual reality laboratories (VRLs) in chemistry education: A systematic literature review. *International Journal of Education*, 15(4), 127–142. <https://doi.org/10.5296/ije.v15i4.21372>
- Information and Analytical Center. (2024). *Natsional'nyy doklad o sostoyanii i razvitii sistemy obrazovaniya Respubliki Kazakhstan (po itogam 2023 goda)* [National report on the state and development of the education system of the Republic of Kazakhstan (based on the results of 2023)]. <https://iac.kz/> [in Russian]
- Karmanova, A., Madybekova, G., Kavak, N., Ualikhanova, B., Zharylkassyn, A., & Umarova, Z. (2024). Developing the professional competence of future chemistry teachers through digital technologies: A case study of Kazakhstan. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(8), 1119–1126. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.8.2140>
- Kosyakov, A. V. (2021). Ispol'zovanie elektronnoy obucheniya i distantsionnykh tekhnologiy v obrazovatel'noy praktike vuza [The use of e-learning and distance technologies in the educational practice of a university]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya «Khimiya»*, 4(104), 18–24. [in Russian]
- Labster. (n. d.). *The lab experience is simulated, but the research is real*. Retrieved February 10, 2026, from <https://www.labster.com/blog/research-story>
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Mataev, B. A., & Shalgynbaeva, K. K. (2022). Osobennosti formirovaniya kontseptsii «Ya» studentov s ispol'zovaniem tsifrovyykh tekhnologiy v period pandemii Covid-19 [Features of forming the self-concept of students using digital technologies during the Covid-19 pandemic]. *Vestnik ENU im. L. N. Gumileva. Seriya: Pedagogika. Psikhologiya. Sotsiologiya*, 2(139), 56–65. [in Russian]
- Ministry of Labour and Social Protection of the Population of the RK. (n. d.). *Atlas novykh professiy i kompetentsiy Kazakhstana* [Atlas of new professions and competencies of Kazakhstan]. <https://enbek.kz/atlas/> [in Russian]
- QyzPU. (n. d.). *Katalog elektivnykh distsiplin bakalavriata* [Catalogue of elective bachelor's disciplines]. <https://qyzpu.edu.kz/ru/obrazovatelnie-programmi-bakalavriata> [in Russian]
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Wolfart, O., Wagner, A. L., & Wagner, I. (2023). Digital tools in secondary chemistry education – added value or modern gimmicks? *Frontiers in Education*, 8, 1197296. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1197296>
- Yusupova, S. (2020). Vyzovy i vozmozhnosti tsifrovizatsii obrazovaniya v Kazakhstane [Challenges and opportunities of education digitalization in Kazakhstan]. *Put' nauki*, 6(10), 4001–4008. [in Russian]

Сабденова Ұлбосын^{1*}, Шоқыбаев Жеңіс¹, Арбузова Елена²

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Ф.М. Достоевский атындағы Омбы мемлекеттік университеті, Омбы, Ресей

*e-mail: ulbolsyn.sabdenova@mail.ru

БІЛІМ БЕРУДЕГІ ЦИФРЛАНДЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА БОЛАШАҚ ХИМИЯ МҰҒАЛІМДЕРІН ДАЯРЛАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК МОДЕЛІ

Аңдатпа. Мақалада жаһандық цифрлық трансформация жағдайында жоғары педагогикалық білім беруді жаңғырту мәселесі қарастырылады. Заманауи мектептің оқу үдерісіне цифрлық технологияларды тиімді кіріктіруге қабілетті жаратылыстану ғылымдары пәндері мұғалімдерін даярлау тәсілдерін жаңарту қажеттілігіне назар аударылады. Зерттеудің өзектілігі «қос тапшылықпен» айқындалады: бір жағынан, білім алушылардың танымдық және оқу қалауларының өзгеруі, екінші жағынан, қолда бар цифрлық инфрақұрылымның әдістемелік тұрғыдан жеткіліксіз пайдаланылуы. Зерттеудің мақсаты — кәсіби-цифрлық құзыреттіліктерді қалыптастыруға бағдарланған болашақ химия мұғалімдерін даярлаудың әдістемелік моделін теориялық негіздеу, әзірлеу және сынақтан өткізу. Зерттеу методологиясы құзыреттілік тәсілге және педагогикалық эксперимент әдістеріне негізделген; жұмыс аралас (mixed-methods) дизайн аясында орындалып, анықтаушы, қалыптастырушы және бақылаушы кезеңдерді қамтыды. Мақсаттық, мазмұндық, процессуалдық-технологиялық және бағалау-нәтижелік блоктардан тұратын модель әзірленді; ол ACD/ChemSketch, PhET және Labster бағдарламаларын қолдана отырып, виртуалды пре-лабингі бар «аударылған сынып» (flipped classroom) технологиясы бойынша «Химияны оқытудағы цифрлық технологиялар» арнайы курсы (5 кредит) арқылы іске асырылады. Эксперименттік апробация нәтижелері ($n = 60$; ЭТ — 30, БТ — 30) гибриді оқыту формаларының тиімділігін растады: эксперименттік топта орташа балл 62,4-тен 81,5-ке, бақылау тобында 63,1-ден 68,2-ге дейін өсті; эксперименттік топта кәсіби-цифрлық құзыреттіліктердің статистикалық маңызды өсімі тіркелді ($t = 7,59$; $p < 0,01$; $d = 1,96$), ең жоғары өсім әрекеттік критерий бойынша байқалды (+24%). Практикалық маңыздылығы ұсынылған арнайы курс пен виртуалды зертханалық жұмыстар банкін жоғары педагогикалық білім беру жүйесінде ауқымдау мүмкіндігінде.

Түйін сөздер: химия мұғалімдерін даярлау, білім берудегі цифрлық трансформация, әдістемелік модель, кәсіби-цифрлық құзыреттілік, виртуалды зертханалар, аралас оқыту, нейропедагогика, STEM-технологиялар

Sabdenova Ulbossyn^{1}, Shokybaev Zhenis¹, Arbuzova Elena²*

¹Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

²Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

*e-mail: ulbolsyn.sabdenova@mail.ru

METHODOLOGICAL MODEL FOR TRAINING FUTURE CHEMISTRY TEACHERS IN THE CONTEXT OF EDUCATION DIGITALIZATION

Abstract. The article examines the current problem of modernizing higher pedagogical education under conditions of global digital transformation. Attention is focused on updating approaches to training natural science teachers capable of integrating digital technologies into school practice. The relevance stems from a “double deficit”: changing cognitive and learning preferences of students alongside the insufficient methodological use of the existing digital infrastructure. The aim of the study is the theoretical justification, development, and approbation of a methodological model for training future chemistry teachers, oriented toward the formation of professional-digital competencies. The methodology is based on the competency approach and methods of pedagogical experiment; the study follows a mixed-methods design and comprised ascertaining, formative, and control stages. The model developed includes target, content, procedural-technological, and evaluative-resultative blocks, and is implemented through the special course “Digital Technologies in Teaching Chemistry” (5 credits) using ACD/ChemSketch, PhET, and Labster within a flipped classroom format with virtual pre-labs. The results of experimental approbation ($n = 60$; EG — 30, CG — 30) confirmed the effectiveness of hybrid learning: the mean score in the experimental group

rose from 62.4 to 81.5 and in the control group from 63.1 to 68.2; statistically significant growth in professional-digital competencies was recorded in the experimental group ($t = 7.59$; $p < 0.01$; $d = 1.96$), with the largest gain in the activity criterion (+24%). The practical significance lies in the possibility of scaling the proposed special course and the bank of virtual laboratory works within the higher pedagogical education system.

Keywords: chemistry teacher training, digital transformation of education, methodological model, professional-digital competence, virtual laboratories, blended learning, neuropedagogy, STEM technologies

Поступила 27 Апреля 2026

Информация об авторах

Сабденова Улбосын – докторант, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан, e-mail: ulbolsyn.sabdenova@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5465-5940>

Шоқыбаев Женис – д.х.н., профессор, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан, e-mail: jenis_shokybaev@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2907-6079>

Арбузова Елена – д.п.н., профессор, Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия, e-mail: arbuzova-elena@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6060-3896>

Авторлар туралы мәлімет

Сабденова Ұлбосын – докторант, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: ulbolsyn.sabdenova@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5465-5940>

Шоқыбаев Жеңіс – х.ғ.д., профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: jenis_shokybaev@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2907-6079>

Арбузова Елена – п.ғ.д., профессор, Ф.М. Достоевский атындағы Омбы мемлекеттік университеті, Омбы, Ресей, e-mail: arbuzova-elena@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6060-3896>

Information about the authors

Sabdenova Ulbossyn – PhD student, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ulbolsyn.sabdenova@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5465-5940>

Shokybaev Zhenis – Doctor of Chemistry, Professor, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jenis_shokybaev@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2907-6079>

Arbuzova Elena – Doctor of Pedagogics, Professor, Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia, e-mail: arbuzova-elena@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6060-3896>