

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ЦИФРОВЫХ ПРАКТИК В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ: МИРОВОЙ ОБЗОР

А.С. Тулебекова^{*1} , Н. Рывкина² , А. Алдунгарова³ 

^{1,2} Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

³ Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

E-mail: ^{*1}azeliyatul@gmail.com, ²rondv2@mail.ru, ³liya_1979@mail.ru

Аннотация. В данной статье анализируются мировые практики применения цифровых технологий в инженерном образовании с целью выявления эффективных элементов и их содержания. Особое внимание уделяется организации практических занятий, которые в традиционном формате требуют специализированного оборудования. В этом контексте лучшие международные примеры демонстрируют эффективность различных цифровых решений от симуляций и удалённых лабораторий до IoT-модулей и цифровых двойников, которые обеспечивают формирование профессиональных компетенций и расширяют доступ к современным образовательным ресурсам. В исследование включено более 35 публикаций, систематизированных по четырём направлениям. Распределение практик по годам и категориям показывает устойчивый рост интереса к цифровизации образования после 2020 года, что связано с переходом университетов к дистанционным и смешанным форматам. Наибольшее развитие получили симуляции и виртуальные лаборатории, в то время как цифровые двойники и IoT-модули демонстрируют возрастающую перспективность как элементы более сложной интеграции реальных данных и инженерных процессов. Полученные результаты имеют не только технологическое, но и педагогическое значение. Классификация цифровых решений отражает разные уровни вовлечённости студентов: от визуализации и объяснения процессов до исследовательской и проектной деятельности. Это позволяет использовать мировые практики в качестве ориентира для развития строительного образования в Казахстане и разработки образовательных платформ, интегрирующих наиболее эффективные цифровые элементы.

Ключевые слова: инженерное образование, цифровые технологии, виртуальные лаборатории, IoT-модули, симуляции.

Введение

Цифровизация образования в последние годы стала одним из ключевых направлений модернизации высшей школы (Nurbekova и др., 2023). Особенно активно этот процесс развивается в инженерном образовании, где значительная часть учебного процесса связана с проведением практических занятий. Сегодня по-прежнему широко используется традиционный подход к организации лабораторных и практических работ. Однако программы практических занятий включают ограниченное количество экспериментальных компонентов. Это связано, прежде всего, с временными ограничениями: для проведения и демонстрации эксперимента, а также сопутствующих методик тестирования требуется значительное время, а также ограниченной материальной базой. Большие академические группы (контингент обучающихся свыше 500 человек) предполагают наличие большого количества испытательного и измерительного оборудования, которое зачастую в достаточном объёме отсутствует даже в ведущих университетах крупных городов. Дополнительные трудности вызывает организация сложных строительных процессов, таких как сейсмическое проектирование, возведение мостов и различных сложных конструкций, полевые испытания, динамика жидкостей в реальных условиях или теплопередача в многофазных средах.

Одним из временных решений стало использование видеоматериалов (например, с платформы YouTube) для демонстрации строительных процессов и оценки качества материалов. Такой подход позволяет наглядно показать реальные методы и технологии, способствуя лучшему пониманию теоретического материала. Однако он имеет ряд ограничений: отсутствие интерактивности, невозможность самостоятельного взаимодействия студентов с материалом, ограниченное погружение в практическую деятельность, проблемы с качеством контента и языковой барьер.

Альтернативное направление развития связано с созданием и внедрением инновационных цифровых инструментов в инженерном образовании и научных исследованиях. В различных университетах Казахстана активно развиваются проекты по применению технологий виртуальной и дополненной реальности, а также цифровых двойников в инженерных дисциплинах, включая транспортное проектирование, аддитивное производство и энергетические системы (Absadyk и др., 2023).

Следует подчеркнуть, что все эти проекты относятся преимущественно к смежным областям. В строительном же образовании подобные инициативы также начинают развиваться, что делает анализ мировых практик особенно актуальным для определения перспективных направлений.

На международном уровне наблюдается активное развитие четырёх основных направлений: симуляции и виртуальные лаборатории (включая VR/AR и desktop-версии), удалённые лаборатории с доступом к реальному оборудованию через интернет, IoT-модули, а также цифровые двойники (Brinson, 2015). Эти подходы позволяют студентам выполнять практические задания без необходимости постоянного доступа к оборудованию, делая образовательный процесс более гибким и масштабируемым.

Целью данного исследования является систематизация мировых практик, использующих цифровизацию инженерного образования путем выделения эффективных цифровых элементов, которые представляют особый интерес для дальнейшего развития строительного образования.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели методика исследования включала следующие этапы:

Аналитико-поисковый этап — поиск и отбор публикаций в ведущих международных научных базах данных с использованием комбинаций ключевых слов: инженерное образование, цифровое обучение, моделирование, виртуальная лаборатория, IoT (интернет вещей), машинное обучение и др.

Этап отбора и классификации источников. На данном этапе осуществлялась всесторонняя педагогическая экспертиза найденных публикаций. Каждая работа анализировалась с точки зрения её соответствия цели исследования и наличия описания образовательных, симуляционных или обучающих компонентов. Особое внимание уделялось статьям, где цифровые технологии рассматривались не только как инструмент, но и как педагогическое средство формирования профессиональных компетенций студентов инженерных направлений. Для повышения достоверности анализа источники систематизировались по нескольким признакам: тип исследования (обзорное, экспериментальное, прикладное), уровень внедрения цифровых инструментов в образовательный процесс, а также педагогическая направленность (обучающая, диагностическая, развивающая).

Этап контент-анализа педагогических практик. На данном этапе проводился системный анализ содержания отобранных публикаций с целью выявления педагогических закономерностей применения цифровых технологий в инженерном образовании. Контент-анализ был направлен на определение того, каким образом цифровые инструменты способствуют формированию профессиональных и универсальных компетенций обучающихся. В ходе анализа рассматривались цели и задачи обучения, методы и формы преподавания, особенности взаимодействия преподавателя и студентов, а также степень активности и самостоятельности обучающихся в цифровой образовательной среде. Особое внимание уделялось способам педагогического проектирования симуляционных модулей, формам обратной связи и методам оценивания результатов обучения. Кроме того, анализировалась структура цифровых курсов и лабораторных модулей, их соответствие когнитивным уровням по таксономии Блума, а также наличие практико-ориентированных элементов, обеспечивающих развитие инженерного мышления.

Классификация и интерпретация данных. Для систематизации и сравнительного анализа выявленных педагогических практик была применена условная шкала уровней от 0 до 4, отражающая ключевые этапы когнитивной деятельности и соотносимая с таксономией Блума. Категория 1 (вовлечение) соотносится с начальными уровнями запоминания и понимания, категория 2 (объяснение) соответствует уровню понимания, категория 3 (закрепление) отражает применение и анализ, а категория 4 (оценивание) связана с этапами оценки. Категория 0 выделена для обзорных работ, которые не содержат эмпирического внедрения, но формируют теоретическую основу исследования.

К числу таких работ относится исследование Дж. Р. Бринсона (Brinson, 2015), где представлено систематическое обобщение эмпирических работ, посвящённых сравнению учебных результатов в традиционных лабораториях (TL) и нетрадиционных (виртуальные и удалённые, NTL). Автор проанализировал 56 исследований, где напрямую сопоставлялись достижения студентов по различным категориям образовательных результатов. Результаты обзора показали, что в большинстве случаев (около 89% работ) обучение с использованием NTL обеспечивает равные или более высокие результаты по сравнению с TL. Это касается всех категорий знаний и понимания, исследовательских и практических навыков, аналитических умений, восприятия и научной коммуникации. Однако большая часть исследований (95%) была сосредоточена на проверке предметных знаний, главным образом через тесты и викторины. Такие важные результаты, как исследовательские

умения, анализ данных и социальная коммуникация, оценивались гораздо реже. В то же время ряд исследований выявил, что виртуальные лаборатории оказались особенно эффективны для повышения понимания теоретических концепций и мотивации учащихся. Также отмечено, что эффективность может зависеть от уровня предшествующих знаний: студенты с низким базовым уровнем больше выигрывают от наглядных виртуальных моделей, тогда как для продвинутых необходимы реальные манипуляции.

В ряде других обзорных исследований также акцентируется внимание на потенциале виртуальных и удалённых лабораторий для инженерного образования. Так, авторы (Heradio, De La Torre and Dormido, 2016) представили систематический анализ более сотни публикаций, посвящённых применению удалённых лабораторий в обучении автоматике и управлению. Авторы показали, что такие форматы обеспечивают не только доступность оборудования и гибкость во времени, но и возможность масштабирования учебного процесса. В работе (Viegas и др., 2018) обобщены эмпирические данные о влиянии удалённых лабораторий на формирование практических навыков и развитие исследовательских умений студентов, что подтвердило их сопоставимость с традиционными hands-on практиками. Более поздние исследования (Van Den Beemt и др., 2023; Escobar-Castillejos и др., 2024) сосредоточились на педагогических аспектах использования онлайн-лабораторий, выделяя значимость активного обучения, коллаборации и интерактивного взаимодействия как ключевых факторов повышения образовательных результатов.

В работе Escobar-Castillejos (Escobar-Castillejos и др., 2024) рассмотрено применение цифровой платформы для курса инженерия методов в Панамериканском университете (Мексика). Платформа была разработана для поддержки практических занятий (рисунок 1). Ключевыми функциональными модулями являлись: система авторизации и управления данными пользователей, модуль лабораторных инструкций с целями и задачами каждого практического задания, модуль загрузки отчётов, позволяющий безопасно отправлять лабораторные работы на проверку, а также система отслеживания прогресса и начисления студентам баллов за их выполнение.

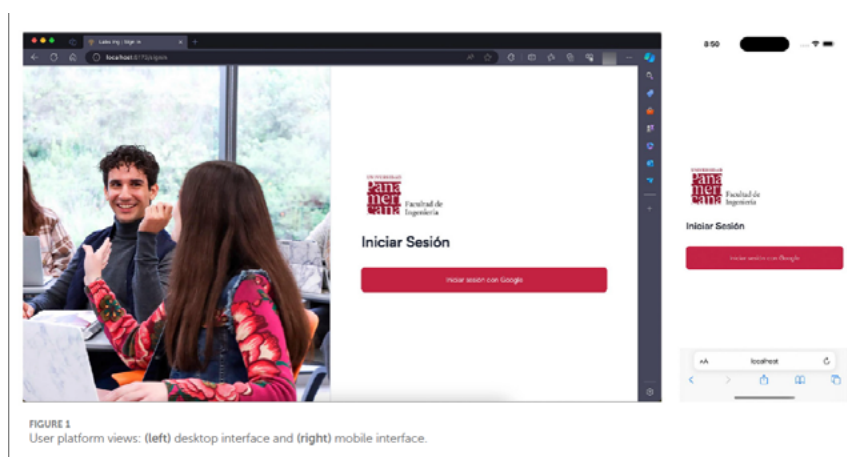


Рисунок 1. Интерфейс платформы (Escobar-Castillejos и др., 2024)

Таким образом, платформа не только воспроизводит структуру традиционного лабораторного курса, но и усиливает его за счёт цифровых инструментов контроля, обратной связи и мотивации. Экспериментальная группа из 26 студентов протестировала платформу. Результаты показали высокий уровень одобрения: 73% студентов отметили точность информации, а большинство поставили максимальную оценку удобству использования. При этом около 62% признали содержание платформы релевантным и ценным для изучения дисциплины.

Применение симулятора LOST (Logistics Simulator) для обучения студентов инженерных направлений, где основное внимание уделяется развитию практических навыков принятия решений в цепочках поставок, представили ученые (Pacheco-Velázquez, 2025). Платформа воспроизводит ключевые процессы логистики, выбор поставщиков, закупку сырья и сопровождается элементами геймификации, усложнение сценариев по мере выполнения заданий (рисунок 2).

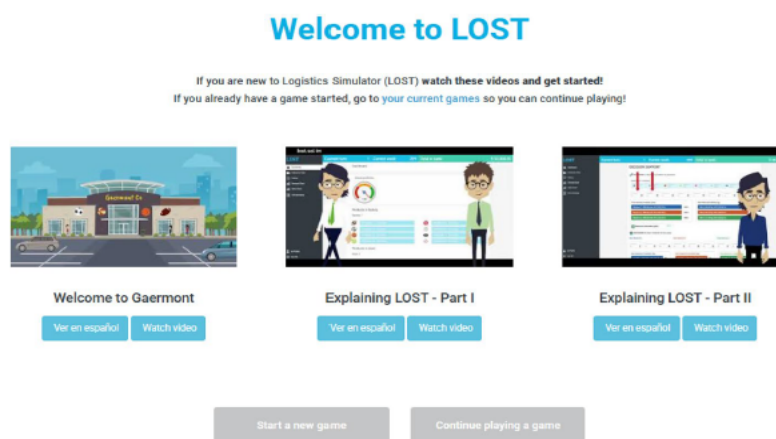
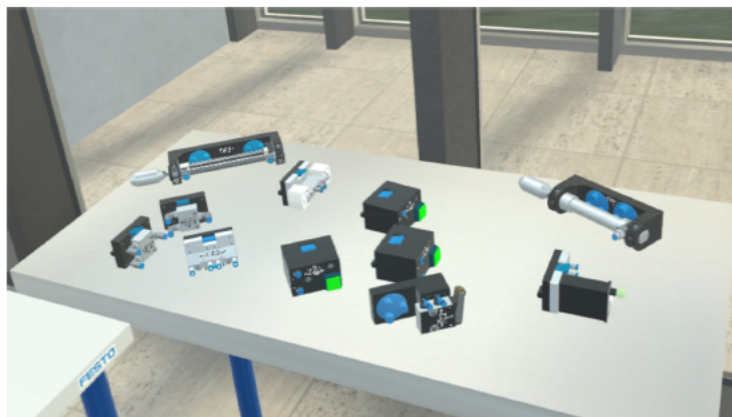


Рисунок 2. Видео и инструкции для работы с симулятором LOST (Pacheco-Velázquez, 2025)

Использование симулятора продемонстрировало положительный образовательный эффект: по шкале EGameFlow общий средний балл составил 5,84 из 7, при этом более 72% студентов отметили улучшение понимания дисциплины. Авторы делают вывод о том, что LOST является эффективным инструментом цифровизации практических занятий в инженерии, способным усиливать мотивацию студентов и формировать системное видение процессов, но нуждается в доработке механизмов обратной связи и коллективного обучения.

Применение системы Holodeck VR в обучении студентов инженерных направлений по курсам гидравлики и пневматики показало положительный результат (Liljaniemi and Paavilainen, 2025). Holodeck VR был разработан как иммерсивная обучающая среда, позволяющая студентам выполнять практические задания в виртуальной лаборатории с использованием визуализаций оборудования, датчиков и потоков жидкости (рисунок 3). Ключевые функции системы включают реалистичное воспроизведение процессов, возможность многократного повторения экспериментов без риска повреждения оборудования, а также интеграцию элементов взаимодействия, таких как настройка параметров давления и скорости. Эксперимент охватил 84 студентов, разделённых на контрольную (традиционные лаборатории) и экспериментальную группы (обучение с VR).



**Рисунок 3. Компоненты виртуальной симуляции
(Liljaniemi and Paavilainen, 2025)**

Результаты показали значительное повышение вовлечённости и интереса у студентов, обучавшихся с помощью Holodeck VR: по шкале удовлетворённости более 80% участников отметили, что среда помогла лучше понять теоретические концепции. Кроме того, экспериментальная группа продемонстрировала на 15% более высокие результаты в тестах на понимание принципов гидравлики и пневматики по сравнению с контрольной.

В исследовании (Vassigh, 2020) представлена разработка и внедрение прототипа иммерсивной образовательной среды Skope, ориентированной на обучение студентов архитектуры, инженерии и строительства экологически устойчивому проектированию зданий. Среда сочетает виртуальную и дополненную реальность с визуализационными инструментами и специализированными учебными модулями, позволяя интегрировать междисциплинарный контент. Авторы провели экспериментальное внедрение Skope в рамках трёх междисциплинарных курсов и оценили его влияние на мотивацию студентов, понимание принципов строительной науки, а также навыки совместной работы. Результаты показали, что использование иммерсивной среды способствует улучшению усвоения материала, росту интереса к обучению и формированию положительного отношения к командной работе. Однако исследование также выявило ряд ограничений: необходимость значительных ресурсов для подготовки преподавателей, организационные и финансовые сложности внедрения.

Другой инновационный инструмент обучения представлен авторским коллективом (Sanei и др., 2024), представленный применением низкочастотных интеллектуальных сенсоров серии LEWIS (Low-Cost Efficient Wireless Intelligent Sensor) для задач структурного мониторинга и образовательных целей. Авторы акцентируют внимание на том, что традиционные системы отличаются высокой стоимостью, сложностью эксплуатации и требовательностью к квалификации пользователей, что ограничивает их широкое применение. В ответ предложен прототип LEWIS1, основанный на платформе Arduino и трёхосевом акселерометре MMA8451. Устройство характеризуется простотой сборки и возможностью использования студентами и инженерами без специальной подготовки в электронике. Для оценки эффективности система была протестирована в лабораторных условиях на вибростенде и сопоставлена с коммерческим эталонным датчиком, что подтвердило её сопоставимую точность для низкочастотных колебаний. Студенты кафедры гражданского строительства Университета Нью-Мексико (UNM) использовали сенсоры LEWIS1 при проведении модального анализа моста в Нью-Мексико, установив на конструкцию восемь устройств и выполнив полноценные испытания в реальных условиях (рисунок 4). Авторы заключают, что сенсоры серии LEWIS открывают новые возможности для инженерного

образования, обеспечивая практическое освоение технологий мониторинга и доступ к экспериментам в области гражданского строительства и смежных дисциплин.



Рисунок 4. Экспериментальная работа студентов с сенсорами серии LEWIS (Sanei и др., 2024)

Применение инновационной системы, в которой интеллектуальные сенсоры интегрированы в традиционные электротехнические эксперименты и дополнены визуализацией через гарнитуру дополненной реальности Microsoft HoloLens 2, предложено исследователями (Карр и др., 2021). Разработанное решение включает «умные» сенсорные модули, встраиваемые непосредственно в электрические цепи, способные измерять ток и напряжение, определять пространственное положение компонентов при помощи SteamVR tracking, а также идентифицировать соединительные кабели. Передача данных осуществляется через Bluetooth Low Energy с последующей визуализацией в режиме реального времени, что формирует «цифровой двойник» эксперимента (рисунок 5).



Рисунок 5. Экспериментальное устройство (Карр и др., 2021)

Данная интеграция обеспечивает согласованность виртуальных и реальных элементов и соответствует принципам когнитивной теории мультимедийного обучения, облегчая восприятие абстрактных понятий. Сначала система прошла лабораторную проверку точности измерений с использованием мультиметров в качестве эталонных приборов, затем было выполнено исследование удобства эксплуатации с участием обучающихся в Германии. Авторы подчеркивают, что данное решение открывает перспективы для инди-

визуализированной обратной связи, интеллектуального анализа данных и построения цифровых двойников, что в совокупности повышает эффективность STEM-обучения и снижает когнитивную нагрузку студентов.

Этапы проектирования цифровых двойников на примере магистерской программы Университета прикладных наук Дармштадта представлено в исследовании (Zacher, 2021), где цифровые двойники могут использоваться в образовательных процессах, а также демонстрируют пути перехода от оригинального устройства к его программной модели. И одним из уникальных и на сегодня не часто используемых цифровых элементов, включенных в образовательные цифровые платформы, является IoT, который в мировых исследованиях выступает как отдельный компонент. Так, в работе (Kandala и др., 2025) представлена концепция удалённых лабораторий RLabs, созданных на основе IoT-ретро-фиттинга. Существующие установки модернизированы при помощи микроконтроллеров Raspberry Pi и ESP32, что позволило собирать данные с датчиков, управлять оборудованием и транслировать видео в реальном времени через веб-интерфейс. Архитектура включает фронтенд, бэкенд, облачный модуль и IoT-уровень, который связывает реальные приборы с цифровой платформой. Авторы показали на примерах оптических экспериментов (Vanishing Rod, Focal Length), что IoT-интеграция делает лаборатории доступными, масштабируемыми и низкзатратными, сохраняя при этом высокий образовательный эффект.

Результаты

Таким образом, лучшие мировые практики (ЛП) показали обширный набор цифровых инструментов, применяемых в инженерном образовании. На основе классификации по шкале 0-4 сформирована сводная таблица 1, отражающая распределение исследований по категориям.

Таблица 1. Распределение исследований (ЛП) по категориям

Категория	Лучшие практики
0	ЛП 1 (Brinson, 2015); ЛП 2 (Heradio и др., 2016); ЛП 3 (Viegas и др., 2018); ЛП 4 (Radianti и др., 2020); ЛП 5 (Chang и др., 2022); ЛП 14 (May и др., 2023)
1	ЛП 7 (Bolkas и др., 2020); ЛП 10 (May и др., 2023); ЛП 13 (Vahdatikhaki и др., 2024); ЛП 17 (Norambuena и др., 2025); ЛП 25 (Lin, 2025); ЛП 26 (Lei и др., 2012); ЛП 28 (Suhail и др., 2024); ЛП 38 (Liljaniemi and Paavilainen, 2025); ЛП 39 (Abbas и др., 2024)
2	ЛП 6 (Tan и др., 2022); ЛП 8 (Bolkas и др., 2021); ЛП 11 (Waters и др., 2021); ЛП 15 (Negahban, 2024); ЛП 16 (Zhang и др., 2024); ЛП 18 (Zacher, 2021); ЛП 25 (Lin, 2025); ЛП 27 (Sepasgozar, 2020); ЛП 29 (Haider and Alberd, 2024); ЛП 32 (Umesha и др., 2024); ЛП 35 (Escobar-Castillejos и др., 2024); ЛП 37 (Pacheco-Velázquez и др., 2025); ЛП 40 (Anselmo и др., 2021)
3	ЛП 7 (Bolkas и др., 2020); ЛП 9 (Bolkas и др., 2022); ЛП 10 (Jang и др., 2022); ЛП 11 (Waters и др., 2021); ЛП 13 (Vahdatikhaki, 2024); ЛП 16 (Zhang и др., 2024); ЛП 17 (Norambuena и др., 2025); ЛП 19 (Asad и др., 2024); ЛП 20 (Sanei и др., 2024); ЛП 22 (Atta и др., 2022); ЛП 23 (Anselmo и др., 2021); ЛП 24 (Alnuaimi and Awad, 2025); ЛП 26 (Lei и др., 2012); ЛП 27 (Sepasgozar, 2020); ЛП 28 (Suhail и др., 2024); ЛП 30 (Palmer и др., 2022); ЛП 31 (Boca и др., 2023); ЛП 32 (Umesha и др., 2022); ЛП 33 (Viswanadh, 2025); ЛП 34 (Tian и др., 2025); ЛП 41 (Alkhatib и др., 2023)
4	ЛП 9 (Bolkas и др., 2022); ЛП 12 (Reid и др., 2022); ЛП 21 (Kapp и др., 2021); ЛП 22 (Atta и др., 2022); ЛП 36 (Gumaelius и др., 2024)

Применяемый подход позволил классифицировать цифровые технологии в инженерном образовании через призму их вклада в различные когнитивные уровни обучения. Анализ показал, что после 2020 года исследования всё чаще сосредоточены на категориях объяснение (2) и закрепление (3), что отражает переход от обзорных работ к практическому внедрению цифровых решений в учебный процесс (рисунок 6).

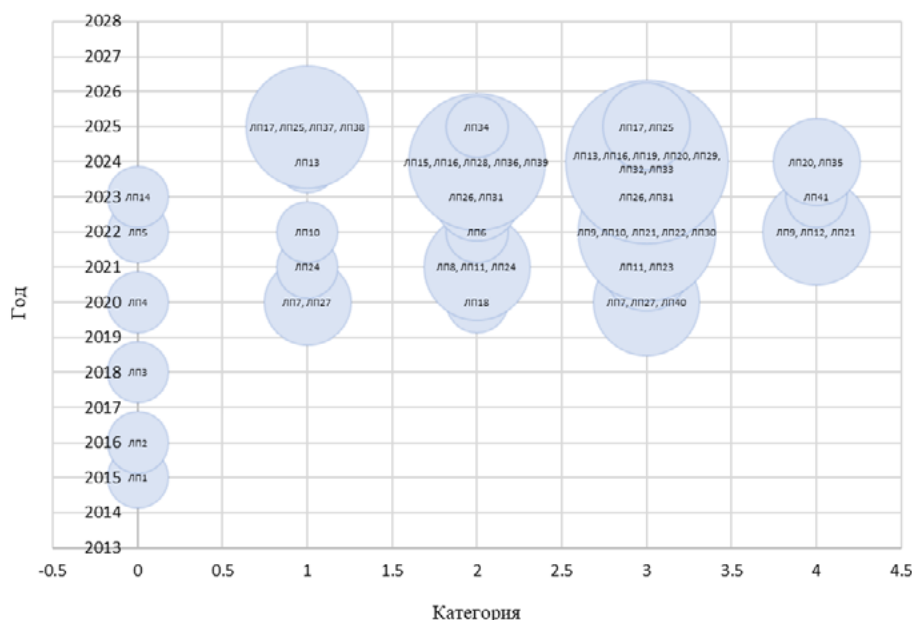


Рисунок 6. Карта функций цифровых инструментов в инженерном образовании

Вместе с тем, сохраняется значимая роль обзорных исследований (категория 0), формирующих теоретическую основу для дальнейших разработок. Категория вовлечение (1) представлена ограниченно, что свидетельствует о потребности в более глубоком изучении аспектов мотивации и эмоционального включения обучающихся. Категория оценивание (4) встречается в ограниченном числе исследований, что подчёркивает необходимость развития инструментов комплексной оценки образовательных результатов. Таким образом, выявленные тенденции отражают смещение акцентов от концептуальных обобщений к практико-ориентированным формам цифрового обучения, при этом сохраняются направления, требующие дальнейшего углубления.

Обсуждение

Обзор представленных мировых практик показывает, что каждое из четырёх направлений обладает своими сильными сторонами, которые могут быть применены и в строительном образовании. Для Казахстана наибольший интерес представляют симуляции и виртуальные лаборатории как инструмент восполнения ограниченной материально-технической базы, удалённые лаборатории как средство расширения доступа к оборудованию, IoT-модули как источник реальных данных для анализа, а цифровые двойники как перспективный инструмент моделирования сложных инженерных процессов. Данные цифровые инструменты способны стать элементами для разработки образовательной платформы, ориентированной на строительное образование. Такая платформа позволит интегрировать лучшие цифровые практики, обеспечивая сочета-

ние интерактивности, практико-ориентированности и соответствия государственным образовательным стандартам.

Одним из её ключевых компонентов должен стать модуль симуляции строительных процессов, объединяющий традиционные и нетрадиционные форматы обучения, особенности которых представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Особенности традиционного и нетрадиционного обучения

Характеристика	Традиционное обучение	Нетрадиционное обучение
Определение	Физическая лаборатория: студенты присутствуют и выполняют эксперименты.	Виртуальная лаборатория (удалённый доступ к оборудованию через интернет).
Преимущества	- непосредственный практический опыт работы с оборудованием; - освоение практических навыков использования оборудования, анализ погрешностей измерений и выявление расхождений между теоретическими и экспериментальными результатами.	- доступ в любое время и из любой точки; - возможность повторений и модификаций, что углубляет понимание; - меньшие финансовые затраты (для многочисленных групп студентов); - удобство при ограниченных ресурсах или дистанционном обучении; - доступность для студентов с ограниченными возможностями.
Недостатки	- высокие затраты на оборудование и обслуживание; - ограниченный доступ (по времени и месту).	- восприятие у обучающихся опыта как «недостаточно реального»; - риск недооценки важности физического контакта с материалами.

Анализ таблицы показывает, что нетрадиционные форматы обладают преимуществами в плане масштабируемости и доступности, однако остается проблема недостаточной «реальности» и ограниченного практического погружения. В рамках платформы данный недостаток может быть преодолен за счёт включения модулей работы с сенсорами и IoT-устройствами. Такая интеграция позволит соединить сильные стороны обоих подходов и приблизить виртуальный опыт к условиям реального инженерного эксперимента.

Заключение

Распределение мировых практик по годам и категориям демонстрирует устойчивый рост интереса к цифровым технологиям после 2020 года. Данный скачок напрямую связан с пандемией COVID-19, которая ускорила переход университетов к смешанному и дистанционному формату обучения. Если до 2019 года количество публикаций было не обширным и сосредоточенным в основном в категории симуляций, то начиная с 2020 года наблюдается интенсивное расширение тематики и появление работ по всем четырём направлениям. Особенно активно развиваются симуляции и виртуальные лаборатории,

которые составляют наибольшую долю от общего числа практик. Это объясняется их относительной доступностью и возможностью быстрого внедрения в учебный процесс. Однако в последние три года отмечается рост интереса к более сложным решениям цифровым двойникам и IoT-модулям, что отражает стремление исследователей и университетов приблизить цифровые инструменты к условиям реального инженерного эксперимента. В свою очередь, удалённые лаборатории демонстрируют устойчивую перспективность для стран с ограниченной материальной базой, так как позволяют получить доступ к реальному оборудованию без необходимости масштабных вложений.

Таким образом, проведённый анализ показывает, что мировое исследовательское сообщество движется от «базового» этапа цифровизации (имитации через симуляции) к «углублённому» этапу (интеграция сенсоров и цифровых двойников). Для строительного образования Казахстана это открывает возможность использовать наиболее зрелые и проверенные практики симуляции и удалённые лаборатории и постепенно внедрять IoT-модули и цифровые двойники как часть модулей образовательной платформы. Данные цифровые элементы позволяют расширить знания и навыки у обучающихся:

Симуляции и виртуальные лаборатории обеспечат развитие когнитивных умений и формирование базовых профессиональных компетенций, связанных с пониманием процессов и методов. Их применение способствует переходу от теоретического восприятия материала к активному освоению инженерных принципов через визуализацию и моделирование ситуаций, близких к реальной практике.

Удалённые лаборатории создают условия для освоения экспериментальной деятельности и навыков работы с оборудованием, что напрямую связано с формированием исследовательской компетентности. Данный формат обеспечивает развитие самостоятельности обучающихся, формируя у них ответственность за проведение и интерпретацию экспериментов в цифровой среде.

IoT-модули и сенсоры дают студентам опыт работы с реальными данными, развивая умения анализа, интерпретации и интеграции информации в практические задачи. Использование таких устройств способствует формированию аналитического мышления и цифровой грамотности, что соответствует требованиям современной инженерной подготовки.

Цифровые двойники представляют собой высший уровень цифровизации обучения, так как позволяют объединить моделирование и исследовательскую работу, формируя комплексное понимание инженерных процессов и навыки их оптимизации.

Вклад авторов:

Тулбекова А. – сбор, анализ, интерпретация результатов работы, написание текста и критический пересмотр его содержания, оформление работы.

Рывкина Н. – дизайн работы, научное редактирование статьи.

Алдунгарова А. – утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Список литературы

Abbas Shah, S.F., Mazhar, T., Shahzad, T., Khan, M.A., Ghadi, Y.Y., Hamam, H. (2024) 'Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories', *Social Sciences & Humanities*, pp. 1-13. DOI: 10.1016/j.ssaho.2024.101207

Absadyk, A., Absattar, Y. (2023) 'Using a virtual twin of a building to ensure security in educational institutions', *Scientific Journal of Astana IT University*, pp. 127–140. DOI: 10.37943/14LUQF6985

- Alkhatib, M., Qu, Y., Cai, R., Unglaub, R., Ritter, R. (2023) 'Real Time Virtual Laboratory Solution Prototype and Evaluation for Online Engineering Degree Programs', *IEEE Access*, pp. 130508–130516. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3334262
- Alnuaimi, M.A., Awad, M.A. (2025) 'VR environment support for STEM students – a case study', *Interactive Learning Environments*, pp. 1–19. DOI: 10.1080/10494820.2025.2527168
- Anselmo Fortoul-Diaz, J., Cortes-Santacruz, F., Perez-Rojas, D., Torres-Rios, E., Antonio Carrillo-Martinez, L. (2021) 'Project-Based Learning Using Internet of Things as an Educational Tool in COVID–19 Era with a Hybrid Context for Engineering Students', *4th International Conference on Education Technology Management*, pp. 111–117. DOI: 10.1145/3510309.3510327
- Asad, M.M., Naz, A., Shaikh, A., Alrizq, M., Akram, M., Alghamdi, A. (2024) 'Investigating the impact of IoT-Based smart laboratories on students' academic performance in higher education', *Universal Access in the Information Society*, 23(3), pp. 1135–1149. DOI: 10.1007/s10209-022-00944-1
- Atta, G., Abdelsattar, A., Elfiky, D., Zahran, M., Farag, M., Slim, S.O. (2022) 'Virtual Reality in Space Technology Education', *Education Sciences*, 12(12), pp. 89–95. DOI: 10.3390/educsci12120890
- Boca, L.L., Ciortea, E.M., Boghean, C., Begov-Ungur, A., Boghean, F., Dădârlat, V.T. (2023) 'An IoT System Proposed for Higher Education: Approaches and Challenges in Economics', *Computational Linguistics and Engineering*, pp. 1–12. DOI: 10.3390/s23146272
- Bolkas, D., Chiampi, J., Chapman, J., Fioti, J., Pavill, V.F. (2020) 'Creating immersive and interactive surveying laboratories in virtual reality: a differential leveling example', *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 9–15. DOI: 10.5194/isprs-annals-V-5-2020-9-2020
- Bolkas, D., Chiampi, J., Fioti, J., Gaffney, D. (2022) 'First Assessment Results of Surveying Engineering Labs in Immersive and Interactive Virtual Reality', *Journal of Surveying Engineering*, 148(1), pp. 1–43. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000388
- Bolkas, D., Jadidi, M., Chiampi, J., Usman, M. (2021) 'Web-based Game vs. Virtual Reality Field Surveying Labs Towards Enhancing Experiential Education', *ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings*, pp. 38–47. DOI: 10.18260/1-2--38037
- Brinson, J.R. (2015) 'Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research', *Computers & Education*, pp. 218–237. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.07.003
- Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Lee, S., Tsai, C. (2022) 'Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact', *Computers & Education*, pp. 104–111. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104641
- Escobar-Castillejos, D., Sigüenza-Noriega, I., Noguez, J., Escobar-Castillejos, D., Berumen-Glinz, L.A. (2024) 'Enhancing methods engineering education with a digital platform: usability and educational impact on industrial engineering students', *Frontiers in Education*, pp. 148–152. DOI: 10.3389/feduc.2024.1438882
- Gumaelius, L., Skogh, I.-B., Matthíasdóttir, Á., Pantzos, P. (2024) 'Engineering education in change. A case study on the impact of digital transformation on content and teaching methods in different engineering disciplines', *European Journal of Engineering Education*, 49(1), pp. 70–93. DOI: 10.1080/03043797.2023.2285794
- Haider, A., Alberd, J. (2024) 'Design a Learning Model to Integrate IoT Applications into the Engineering Curriculum', *CIEC Proceedings*, pp. 49–54. DOI: 10.18260/1-2-1153-49040
- Heradio, R., De La Torre, L., Dormido, S. (2016) 'Virtual and remote labs in control education: A survey', *Annual Reviews in Control*, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001
- Jang, S., Aguero-Barrantes, P., Christenson, R. (2022) 'Augmented and Virtual Reality Resource Infrastructure for Civil Engineering Courses', *ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, pp. 41–49. DOI: 10.18260/1-241449

- Kapp, S., Lauer, F., Beil, F., Rheinländer, C.C., Wehn, N., Kuhn, J. (2021) 'Smart Sensors for Augmented Electrical Experiments', *Sensors*, 22(1), pp. 256-263. DOI: 10.3390/s22010256
- Lei, J.F., Wang, A.M., Zhou, J., Li, Z.Y. (2012) 'Research on Execution Process Monitoring for Curved Block Construction', *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1044-1048. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.190-191.1044
- Liljaniemi, A., Paavilainen, H. (2025) 'Enhancing engineering education through immersive environments - a study of the Holodeck VR system in hydraulics and pneumatics', *Cogent Education*, 12(1), pp. 43-55. DOI: 10.1080/2331186X.2025.2530900
- Lin, H.-C. (2023) 'A Generative AI-Supported Flipped Classroom Model for Personalized Skill Training in Engineering Woodworking Education Innovative Technologies and Learning', *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 366-376. DOI: 10.1007/978-3-031-98197-5_39
- May, D., Terkowsky, C., Varney, V., Boehringer, D. (2023) 'Online laboratories in higher engineering education – solutions, challenges, and future directions from a pedagogical perspective', *European Journal of Engineering Education*, 48(5), pp. 779-782. DOI: 10.1080/03043797.2023.2248820
- Norambuena, N., Ortega, J., Muñoz-La Rivera, F., Covarrubias, M., Valín Rivera, J.L., Ramírez, E., Ketterer, C.I.G. (2025) 'Integrating Digital Twins of Engineering Labs into Multi-User Virtual Reality Environments', *Applied Sciences*, 15(7), pp. 38-51. DOI: 10.3390/app15073819
- Negahban, A. (2024) 'Simulation in engineering education: The transition from physical experimentation to digital immersive simulated environments', *SIMULATION*, 100(7), pp. 695-708. DOI: 10.1177/00375497241229757
- Nurbekova, Z., Aimicheva, G., Baigusheva, K., Sembayev, T., Mukametkali, M. (2023) 'A Decision-Making Platform for Educational Content Assessment Within a Stakeholder-Driven Digital Educational Ecosystem', *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 13(7), pp. 4-23. DOI: 10.3991/ijep.v13i7.41689
- Pacheco-Velázquez, E.A., Rodés-Paragarino, V., Ramírez-Echeverri, S.A. (2025) 'Student's experience in using simulators for the development of complex skills in logistics education: assessing enjoyment of learning', *Smart Learning Environments*, 12(1), pp. 18-30. DOI: 10.1186/s40561-025-00372-7
- Palmer, C., Roullier, B., Aamir, M., McQuade, F., Stella, L., Anjum, A., Diala, U. (2022) 'Digital Twinning remote laboratories for online practical learning', *Production & Manufacturing Research*, 10(1), pp. 519-545. DOI: 10.1080/21693277.2022.2097140
- Radianti, J., Majchrzak, T.A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. (2020) 'A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda', *Computers & Education*, pp. 103-118. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778
- Reid, D., Burridge, J., Lowe, D., Drysdale, T. (2022) 'Open-source remote laboratory experiments for controls engineering education', *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 50(4), pp. 828-848. DOI: 10.1177/03064190221081451
- Sanei, M., Atcitty, S., Moreu, F. (2024) 'Low-Cost Efficient Wireless Intelligent Sensor (LEWIS) for Research and Education', *Sensors*, 24(16), pp. 53-64. DOI: 10.3390/s24165308
- Sepasgozar, S. (2020) 'Digital Twin and Web-Based Virtual Gaming Technologies for Online Education: A Case of Construction Management and Engineering', *Applied Sciences*, 10(13), pp. 46-58. DOI: 10.3390/app10134678
- Suhail, N., Bahroun, Z., Ahmed, V. (2024) 'Augmented reality in engineering education: enhancing learning and application', *Frontiers in Virtual Reality*, pp. 15-23. DOI: 10.3389/frvir.2024.1461145
- Tan, Y., Xu, W., Li, S., Chen, K. (2022) 'Augmented and Virtual Reality (AR/VR) for Education and Training in the AEC Industry: A Systematic Review of Research and Applications', *Buildings*, 12(10), pp. 1529-1536. DOI: 10.3390/buildings12101529

Tian, C., Chen, C., Qu, Y., Li, M., Liu, S. (2025) 'Incorporating Scientific Applications Into Engineering Education Through Interactive Simulation Software', *Computer Applications in Engineering Education*, 33(4), p.23. DOI: 10.1002/cae.70057

Umesha, P.K., Tejas, S., Prasad, S.K., Kanmani, S.S. (2024) 'Application of the Internet of Things in the Field of Civil Engineering: A State-of-the-Art Review', *Journal of Engineering Science and Technology Review*, pp. 8–23. DOI: 10.25103/jestr.175.02

Vahdatikhaki, F., Friso-van Den Bos, I., Mowlaei, S., Kollöffel, B. (2024) 'Application of gamified virtual laboratories as a preparation tool for civil engineering students', *European Journal of Engineering Education*, pp. 164–191. DOI: 10.1080/03043797.2023.2265306

Van Den Beemt, A., Groothuijsen, S., Ozkan, L., Hendrix, W. (2023) 'Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy', *Journal of Computing in Higher Education*, 35(2), pp. 320–340. DOI: 10.1007/s12528-022-09331-4

Vassigh, S., Davis, D., Behzadan, A.H., Mostafavi, A., Rashid, K., Alhaffar, H., Elias, A., Gallardo, G. (2020) 'Teaching Building Sciences in Immersive Environments: A Prototype Design, Implementation, and Assessment', *International Journal of Construction Education and Research*, 16(3), pp. 180–196. DOI: 10.1080/15578771.2018.1525445

Viegas, C., Pavani, A., Lima, N., Marques, A., Pozzo, I., Dobboletta, E., Atencia, V., Barreto, D., Calliari, F., Fidalgo, A., Lima, D., Temporão, G., Alves, G. (2018) 'Impact of a remote lab on teaching practices and student learning', *Computers & Education*, pp. 201–216. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.07.012

Viswanadh Kandala, S., Gureja, A., Walchatwar, N., Agrawal, R., Sinha, S., Chaudhari, S., Vaidhyanathan, K., Choppella, V., Bhimalapuram, P., Kandath, H., Hussain, A. (2025) 'Engineering End-to-End Remote Labs Using IoT-Based Retrofitting', *IEEE Access*, pp. 1106–1132. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3523066

Waters, K., Hubler, J., Sample-Lord, K., Smith, V., Welker, A. (2021) 'Employing Augmented Reality Throughout a Civil Engineering Curriculum to Promote 3D Visualization Skills', *ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings*, pp. 37026. DOI: 10.18260/1-2--37026

Zacher, S. (2021) 'Digital Twins for Education and Study of Engineering Sciences', *International Journal on Engineering, Science and Technology*, 2(2), pp. 61–69. DOI: 10.46328/ijonest.40

Zhang, J., Zhu, J., Tu, W., Wang, M., Yang, Y., Qian, F., Xu, Y. (2024) 'The Effectiveness of a Digital Twin Learning System in Assisting Engineering Education Courses: A Case of Landscape Architecture', *Applied Sciences*, 4(15), pp. 6484. DOI: 10.3390/app14156484

А.С.Тулебекова^{*1}, Н.Рывкина², А.Алдунгарова³

^{1,2} *Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Астана*

³ *Халықаралық білім беру корпорациясы-Университет,
Қазақстан, Алматы*

Инженерлік білім берудегі цифрлық тәжірибелердің педагогикалық құндылығы: әлемдік шолу

Аңдатпа. Бұл мақалада тиімді элементтер мен олардың мазмұнын анықтау мақсатында инженерлік білім беруде цифрлық технологияларды қолданудың әлемдік тәжірибелері талданады. Дәстүрлі форматта мамандандырылған жабдықты қажет ететін практикалық сабақтарды ұйымдастыруға ерекше назар аударылады. Бұл тұрғыда ең жақсы халықаралық мысалдар модельдеу мен қашықтағы зертханалардан бастап кәсіби құзыреттілікті қалыптастыруға және заманауи білім беру ресурстарына қолжетімділікті кеңейтуге мүмкіндік беретін IoT модульдері мен цифрлық егіздерге дейінгі әртүрлі

цифрлық шешімдердің тиімділігін көрсетеді. Зерттеуге төрт бағыт бойынша жүйеленген 35-тен астам басылым енгізілді. Тәжірибелерді жылдар мен санаттар бойынша бөлу 2020 жылдан кейін білім беруді цифрландыруға қызығушылықтың тұрақты өсуін көрсетеді, бұл университеттердің қашықтықтан және аралас форматтарға көшуімен байланысты. Модельдеу және виртуалды зертханалар ең қарқынды дамыды, ал цифрлық егіздер мен IoT модульдері нақты деректер мен инженерлік процестердің неғұрлым күрделі интеграциясының элементтері ретінде даму әлеуетінің жоғары екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер тек технологиялық ғана емес, сонымен қатар педагогикалық маңызы бар. Цифрлық шешімдердің жіктелуі студенттердің қатысуының әртүрлі деңгейлерін көрсетеді: процестерді визуализациялау мен түсіндіруден бастап зерттеу және жобалау жұмыстарына дейін. Бұл әлемдік тәжірибені Қазақстанда құрылыс саласындағы білім беруді дамыту және неғұрлым тиімді цифрлық элементтерді біріктіретін білім беру платформаларын әзірлеу үшін бағдар ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: инженерлік білім, цифрлық технологиялар, виртуалды зертханалар, IoT модульдері, симуляциялар.

A. Tulebekova^{*1}, N. Ryvkina², A. Aldungarova³

^{1,2} *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana*

³ *University - International Education Corporation, Kazakhstan Алматы*

The pedagogical value of digital practices in engineering education: a global overview

Abstract. This article analyses global practices in the application of digital technologies in engineering education to identify effective elements and their content. Particular attention is paid to the organization of practical classes, which in the traditional format require specialized equipment. In this context, the best international examples demonstrate the effectiveness of various digital solutions, from simulations and remote laboratories to IoT modules and digital twins, which ensure the formation of professional competencies and expand access to modern educational resources. The study includes more than 35 publications, systematized into four areas. The distribution of practices by year and category shows a steady growth in interest in the digitalization of education after 2020, which is associated with the transition of universities to remote and blended formats. Simulations and virtual laboratories have seen the most development, while digital twins and IoT modules are demonstrating increasing promise as elements of more complex integration of real data and engineering processes. The results obtained are not only of technological but also of pedagogical significance. The classification of digital solutions reflects different levels of student engagement: from visualization and explanation of processes to research and project activities. This allows global practices to be used as a benchmark for the development of construction education in Kazakhstan and the creation of educational platforms that integrate the most effective digital elements.

Keywords: engineering education, digital technologies, virtual laboratories, IoT modules, simulations.

References

Abbas Shah, S.F., Mazhar, T., Shahzad, T., Khan, M.A., Ghadi, Y.Y., Hamam, H. (2024) 'Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories', *Social Sciences & Humanities*, pp. 1-13. DOI: 10.1016/j.ssaho.2024.101207

- Absadyk, A., Absattar, Y. (2023) 'Using a virtual twin of a building to ensure security in educational institutions', *Scientific Journal of Astana IT University*, pp.127–140. DOI: 10.37943/14LUQF6985
- Alkhatib, M., Qu, Y., Cai, R., Unglaub, R., Ritter, R. (2023) 'Real Time Virtual Laboratory Solution Prototype and Evaluation for Online Engineering Degree Programs', *IEEE Access*, pp. 130508–130516. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3334262
- Alnuaimi, M.A., Awad, M.A. (2025) 'VR environment support for STEM students – a case study', *Interactive Learning Environments*, pp. 1–19. DOI: 10.1080/10494820.2025.2527168
- Anselmo Fortoul-Diaz, J., Cortes-Santacruz, F., Perez-Rojas, D., Torres-Rios, E., Antonio Carrillo-Martinez, L. (2021) 'Project-Based Learning Using Internet of Things as an Educational Tool in COVID–19 Era with a Hybrid Context for Engineering Students', *4th International Conference on Education Technology Management*, pp. 111–117. DOI: 10.1145/3510309.3510327
- Asad, M.M., Naz, A., Shaikh, A., Alrizq, M., Akram, M., Alghamdi, A. (2024) 'Investigating the impact of IoT-Based smart laboratories on students' academic performance in higher education', *Universal Access in the Information Society*, 23(3), pp. 1135–1149. DOI: 10.1007/s10209-022-00944-1
- Atta, G., Abdelsattar, A., Elfiky, D., Zahran, M., Farag, M., Slim, S.O. (2022) 'Virtual Reality in Space Technology Education', *Education Sciences*, 12(12), pp. 89–95. DOI: 10.3390/educsci12120890
- Boca, L.L., Ciortea, E.M., Boghean, C., Begov-Ungur, A., Boghean, F., Dădârlat, V.T. (2023) 'An IoT System Proposed for Higher Education: Approaches and Challenges in Economics', *Computational Linguistics and Engineering*, pp. 1–12. DOI: 10.3390/s23146272
- Bolkas, D., Chiampi, J., Chapman, J., Fioti, J., Pavill, V.F. (2020) 'Creating immersive and interactive surveying laboratories in virtual reality: a differential leveling example', *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 9–15. DOI: 10.5194/isprs-annals-V-5-2020-9-2020
- Bolkas, D., Chiampi, J., Fioti, J., Gaffney, D. (2022) 'First Assessment Results of Surveying Engineering Labs in Immersive and Interactive Virtual Reality', *Journal of Surveying Engineering*, 148(1), pp. 1–43. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000388
- Bolkas, D., Jadidi, M., Chiampi, J., Usman, M. (2021) 'Web-based Game vs. Virtual Reality Field Surveying Labs Towards Enhancing Experiential Education', *ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings*, pp. 38–47. DOI: 10.18260/1-2--38037
- Brinson, J.R. (2015) 'Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research', *Computers & Education*, pp. 218–237. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.07.003
- Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Lee, S., Tsai, C. (2022) 'Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact', *Computers & Education*, pp. 104–111. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104641
- Escobar-Castillejos, D., Sigüenza-Noriega, I., Noguez, J., Escobar-Castillejos, D., Berumen-Glinz, L.A. (2024) 'Enhancing methods engineering education with a digital platform: usability and educational impact on industrial engineering students', *Frontiers in Education*, pp. 148–152. DOI: 10.3389/feduc.2024.1438882
- Gumaelius, L., Skogh, I.-B., Matthíasdóttir, Á., Pantzos, P. (2024) 'Engineering education in change. A case study on the impact of digital transformation on content and teaching methods in different engineering disciplines', *European Journal of Engineering Education*, 49(1), pp. 70–93. DOI: 10.1080/03043797.2023.2285794
- Haider, A., Alberd, J. (2024) 'Design a Learning Model to Integrate IoT Applications into the Engineering Curriculum', *CIEC Proceedings*, pp. 49–54. DOI: 10.18260/1-2-1153-49040
- Heradio, R., De La Torre, L., Dormido, S. (2016) 'Virtual and remote labs in control education: A survey', *Annual Reviews in Control*, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001

- Jang, S., Aguero-Barrantes, P., Christenson, R. (2022) 'Augmented and Virtual Reality Resource Infrastructure for Civil Engineering Courses', ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings, pp. 41-49. DOI: 10.18260/1-241449
- Kapp, S., Lauer, F., Beil, F., Rheinländer, C.C., Wehn, N., Kuhn, J. (2021) 'Smart Sensors for Augmented Electrical Experiments', *Sensors*, 22(1), pp. 256-263. DOI: 10.3390/s22010256
- Lei, J.F., Wang, A.M., Zhou, J., Li, Z.Y. (2012) 'Research on Execution Process Monitoring for Curved Block Construction', *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1044–1048. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.190-191.1044
- Liljaniemi, A., Paavilainen, H. (2025) 'Enhancing engineering education through immersive environments - a study of the Holodeck VR system in hydraulics and pneumatics', *Cogent Education*, 12(1), pp. 43-55. DOI: 10.1080/2331186X.2025.2530900
- Lin, H.-C. (2023) 'A Generative AI-Supported Flipped Classroom Model for Personalized Skill Training in Engineering Woodworking Education Innovative Technologies and Learning', *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 366–376. DOI: 10.1007/978-3-031-98197-5_39
- May, D., Terkowsky, C., Varney, V., Boehringer, D. (2023) 'Online laboratories in higher engineering education – solutions, challenges, and future directions from a pedagogical perspective', *European Journal of Engineering Education*, 48(5), pp. 779–782. DOI: 10.1080/03043797.2023.2248820
- Norambuena, N., Ortega, J., Muñoz-La Rivera, F., Covarrubias, M., Valín Rivera, J.L., Ramírez, E., Ketterer, C.I.G. (2025) 'Integrating Digital Twins of Engineering Labs into Multi-User Virtual Reality Environments', *Applied Sciences*, 15(7), pp. 38-51. DOI: 10.3390/app15073819
- Negahban, A. (2024) 'Simulation in engineering education: The transition from physical experimentation to digital immersive simulated environments', *SIMULATION*, 100(7), pp. 695–708. DOI: 10.1177/00375497241229757
- Nurbekova, Z., Aimicheva, G., Baigusheva, K., Sembayev, T., Mukametkali, M. (2023) 'A Decision-Making Platform for Educational Content Assessment Within a Stakeholder-Driven Digital Educational Ecosystem', *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 13(7), pp. 4–23. DOI: 10.3991/ijep.v13i7.41689
- Pacheco-Velázquez, E.A., Rodés-Paragarino, V., Ramírez-Echeverri, S.A. (2025) 'Student's experience in using simulators for the development of complex skills in logistics education: assessing enjoyment of learning', *Smart Learning Environments*, 12(1), pp. 18-30. DOI: 10.1186/s40561-025-00372-7
- Palmer, C., Roullier, B., Aamir, M., McQuade, F., Stella, L., Anjum, A., Diala, U. (2022) 'Digital Twinning remote laboratories for online practical learning', *Production & Manufacturing Research*, 10(1), pp. 519–545. DOI: 10.1080/21693277.2022.2097140
- Radianti, J., Majchrzak, T.A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. (2020) 'A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda', *Computers & Education*, pp. 103-118. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778
- Reid, D., Burridge, J., Lowe, D., Drysdale, T. (2022) 'Open-source remote laboratory experiments for controls engineering education', *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 50(4), pp. 828–848. DOI: 10.1177/03064190221081451
- Sanei, M., Atcity, S., Moreu, F. (2024) 'Low-Cost Efficient Wireless Intelligent Sensor (LEWIS) for Research and Education', *Sensors*, 24(16), pp. 53-64. DOI: 10.3390/s24165308
- Sepasgozar, S. (2020) 'Digital Twin and Web-Based Virtual Gaming Technologies for Online Education: A Case of Construction Management and Engineering', *Applied Sciences*, 10(13), pp. 46-58. DOI: 10.3390/app10134678
- Suhail, N., Bahroun, Z., Ahmed, V. (2024) 'Augmented reality in engineering education: enhancing learning and application', *Frontiers in Virtual Reality*, pp. 15-23. DOI: 10.3389/frvir.2024.1461145

Tan, Y., Xu, W., Li, S., Chen, K. (2022) 'Augmented and Virtual Reality (AR/VR) for Education and Training in the AEC Industry: A Systematic Review of Research and Applications', *Buildings*, 12(10), pp. 1529-1536. DOI: 10.3390/buildings12101529

Tian, C., Chen, C., Qu, Y., Li, M., Liu, S. (2025) 'Incorporating Scientific Applications Into Engineering Education Through Interactive Simulation Software', *Computer Applications in Engineering Education*, 33(4), p.23. DOI: 10.1002/cae.70057

Umesha, P.K., Tejas, S., Prasad, S.K., Kanmani, S.S. (2024) 'Application of the Internet of Things in the Field of Civil Engineering: A State-of-the-Art Review', *Journal of Engineering Science and Technology Review*, pp. 8–23. DOI: 10.25103/jestr.175.02

Vahdatikhaki, F., Friso-van Den Bos, I., Mowlaei, S., Kollöffel, B. (2024) 'Application of gamified virtual laboratories as a preparation tool for civil engineering students', *European Journal of Engineering Education*, pp. 164–191. DOI: 10.1080/03043797.2023.2265306

Van Den Beemt, A., Groothuijsen, S., Ozkan, L., Hendrix, W. (2023) 'Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy', *Journal of Computing in Higher Education*, 35(2), pp. 320–340. DOI: 10.1007/s12528-022-09331-4

Vassigh, S., Davis, D., Behzadan, A.H., Mostafavi, A., Rashid, K., Alhaffar, H., Elias, A., Gallardo, G. (2020) 'Teaching Building Sciences in Immersive Environments: A Prototype Design, Implementation, and Assessment', *International Journal of Construction Education and Research*, 16(3), pp. 180–196. DOI: 10.1080/15578771.2018.1525445

Viegas, C., Pavani, A., Lima, N., Marques, A., Pozzo, I., Dobboletta, E., Atencia, V., Barreto, D., Calliari, F., Fidalgo, A., Lima, D., Temporão, G., Alves, G. (2018) 'Impact of a remote lab on teaching practices and student learning', *Computers & Education*, pp. 201–216. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.07.012

Viswanadh Kandala, S., Gureja, A., Walchatwar, N., Agrawal, R., Sinha, S., Chaudhari, S., Vaidhyanathan, K., Choppella, V., Bhimalapuram, P., Kandath, H., Hussain, A. (2025) 'Engineering End-to-End Remote Labs Using IoT-Based Retrofitting', *IEEE Access*, pp. 1106–1132. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3523066

Waters, K., Hubler, J., Sample-Lord, K., Smith, V., Welker, A. (2021) 'Employing Augmented Reality Throughout a Civil Engineering Curriculum to Promote 3D Visualization Skills', *ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings*, pp. 37026. DOI: 10.18260/1-2--37026

Zacher, S. (2021) 'Digital Twins for Education and Study of Engineering Sciences', *International Journal on Engineering, Science and Technology*, 2(2), pp. 61–69. DOI: 10.46328/ijonest.40

Zhang, J., Zhu, J., Tu, W., Wang, M., Yang, Y., Qian, F., Xu, Y. (2024) 'The Effectiveness of a Digital Twin Learning System in Assisting Engineering Education Courses: A Case of Landscape Architecture', *Applied Sciences*, 4(15), pp. 6484. DOI: 10.3390/app14156484

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26195121 «Разработка образовательной цифровой платформы для будущих строителей с симуляцией строительных процессов и интеграцией с измерительными устройствами через IoT»).

Сведения об авторах:

Тулебекова Асель Сериковна – автор для корреспонденции, PhD, профессор кафедры строительство, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

Рывкина Наталья Валентиновна – магистр педагогики, старший преподаватель кафедры строительства, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

Алдунгарова Алия Кайратовна – PhD, доцент школы инженерии, Международная образовательная корпорация, улица Рыскулбекова, 28, 050000, Алматы, Казахстан.

Авторлар туралы мәлімет:

Түлебекова Асель Сериковна – хат-хабар авторы, Ph.D философия докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, құрылыс кафедрасының профессоры, Сәтбаев көшесі 2, 010000, Астана, Қазақстан.

Рывкина Наталья Валентиновна – педагогика магистрі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, құрылыс кафедрасының аға оқытушысы, Сәтбаев көшесі 2, 010000, Астана, Қазақстан.

Алдунгарова Алия Кайратовна – PhD философия докторы, Халықаралық білім беру корпорациясы, инженерия мектебінің доценті, Рысқұлбеков көшесі 28, 050000, Алматы, Қазақстан.

Information about the authors:

Tulebekova Assel – corresponding author, Doctor of Philosophy PhD, Professor, Civil Engineering Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev Street, 010000, Astana, Kazakhstan.

Ryvkina Natalya – Master of Education, Senior Lecturer, Civil Engineering Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev Street, 010000, Astana, Kazakhstan.

Aldungarova Aliya – Doctor of Philosophy PhD, Associate Professor, School of Engineering, International Education Corporation, 28 Ryskulbekov Street, 050000, Almaty, Kazakhstan.