

**USE OF VIRTUAL LABORATORY WORK IN THE PREPARATION OF
ENGINEERING STUDENTS****^{1*}Ibraeva A., ^{2,3}Kassymova G., ¹Gumenchuk O., ⁴Urazaliyeva U.**¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan³Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan⁴SDU University, Kaskelen, Kazakhstan**Corresponding author email: a.ibrayeva@tttu.edu.kz***Author information:****Ibraeva Akzharkyn**, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: a.ibrayeva@tttu.edu.kz**Kassymova Gulzhaina**, Faculty of Pedagogy and Psychology, Abai Kazakh National Pedagogical University; Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan. ORCID: 0000-0001-7004-3864; e-mail: g.kassymova@satbayev.university**Gumenchuk Oksana**, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: o_gumenchuk@mail.ru**Urazaliyeva Ulzhan**, PhD student, SDU University, Kaskelen, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-0555>; e-mail: ulzhan.urazaliyeva@sdu.edu.kz

Abstract — This article is devoted to the pedagogical and methodological aspects of the use of virtual laboratory work in engineering education in the context of digitalization. The didactic advantages of virtual laboratories are considered, such as visibility, accessibility, interactivity, and the possibility of repeated reproduction of the experiment. An example of virtual laboratory work, "Compression testing of materials," is given with a description of the modeling methodology, the use of the DEFORM Viewer software package, and the calculation of the hardening curve. It is shown that virtual laboratories improve the quality of students' training, contribute to the formation of professional competencies, the development of analytical thinking and skills in working with digital tools.

Keywords — compression test, plastic properties, mathematical modeling, mechanical testing, DEFORM Viewer.

**ИНЖЕНЕРЛІК БАҒЫТТАҒЫ СТУДЕНТТЕРДІ ДАЙЫНДАУДА ВИРТУАЛДЫ
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ****^{1*}Ибраева А.Е., ^{2,3}Касымова Г.К., ¹Гуменчук О.Н., ⁴Уразалиева Ұ.Н.**¹«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан³Металлургия және кен байыту институты АҚ, Satbayev University, Алматы, Қазақстан⁴SDU University, Қаскелен, Қазақстан**Корреспондент автор e-mail: a.ibrayeva@tttu.edu.kz***Авторлар туралы ақпарат:****Ибраева Акжаркын Елемесовна**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан, e-mail: a.ibrayeva@tttu.edu.kz**Касымова Гулжайна Куралбаевна**, Педагогика және психология факультеті, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті; «Металлургия және Кен байыту институты» АҚ, Satbayev University, Алматы, Қазақстан. ORCID: 0000-0001-7004-3864; e-mail: g.kassymova@satbayev.university**Гуменчук Оксана Николаевна**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан, e-mail: o_gumenchuk@mail.ru**Уразалиева Ұлжан Нұрзатқызы**, PhD докторанты, SDU университеті, Қаскелең, Қазақстан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-0555>; e-mail: ulzhan.urazaliyeva@sdu.edu.kz

Аңдатпа — Бұл мақала цифрландыру жағдайында инженерлік білім беруде виртуалды зертханалық жұмыстарды қолданудың педагогикалық және әдістемелік аспектілеріне арналған. Виртуалды зертханалардың көрнекілік, қолжетімділік, интерактивтілік және экспериментті бірнеше рет қайталау мүмкіндігі сияқты

дидактикалық артықшылықтары қарастырылады. «Материалдарды сығуға сынау» виртуалды зертханалық жұмысының үлгісі келтіріліп, модельдеу әдістемесі, DEFORM Viewer бағдарламалық кешенін қолдану және беріктену қисығын есептеу процесі сипатталады. Виртуалды зертханалар студенттердің кәсіби құзыреттерін қалыптастыруға, аналитикалық ойлауын дамытуға және цифрлық құралдармен жұмыс істеу дағдыларын жетілдіруге ықпал етіп, білім сапасын арттыратыны көрсетілген.

Түйін сөздер — сығуға сынау, пластикалық қасиеттер, математикалық модельдеу, механикалық сынақ, DEFORM Viewer.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

^{1*}Ибраева А.Е., ^{2,3}Касымова Г.К., ¹Гуменчук О.Н., ⁴Уразалиева У.Н.

¹НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан

⁴SDU University, Каскелен, Казахстан

*Автор корреспонденции e-mail: alikhangaini34@gmail.com

Информация об авторах:

Ибраева Акжаркын Елемесовна, НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан, e-mail: a.ibrayeva@tttu.edu.kz

Касымова Гулжайна Куралбаевна, Факультет педагогики и психологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая; Институт металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан. ORCID: 0000-0001-7004-3864; e-mail: g.kassymova@satbayev.university

Гуменчук Оксана Николаевна, НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан, e-mail: o_gumenchuk@mail.ru

Уразалиева Ұлжан Нұрзатқызы, докторант университета СДУ, Каскелен, Казахстан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-0555>; e-mail: ulzhan.urazaliyeva@sdu.edu.kz

Аннотация — Данная статья посвящена педагогическим и методическим аспектам использования виртуальных лабораторных работ в инженерном образовании в условиях цифровизации. Рассматриваются дидактические преимущества виртуальных лабораторий, такие как наглядность, доступность, интерактивность и возможность многократного воспроизведения эксперимента. Приведён пример виртуальной лабораторной работы «Испытание материалов на сжатие» с описанием методики моделирования, применения программного комплекса DEFORM Viewer и расчёта кривой упрочнения. Показано, что виртуальные лаборатории повышают качество подготовки студентов, способствуют формированию профессиональных компетенций, развитию аналитического мышления и навыков работы с цифровыми инструментами.

Ключевые слова — испытание на сжатие, пластические свойства, математическое моделирование, механическое испытание, DEFORM Viewer.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предложена педагогическая модель использования виртуальных лабораторных работ при подготовке студентов инженерных направлений в условиях цифровизации высшего образования. Показано, что применение виртуальных лабораторий на основе программного комплекса DEFORM Viewer обеспечивает формирование профессиональных компетенций, развитие аналитического мышления и навыков работы с современными цифровыми инженерными инструментами. Разработанный подход способствует повышению качества практической подготовки обучающихся, расширяет возможности самостоятельного освоения учебного материала и обеспечивает

безопасное выполнение лабораторных экспериментов при сохранении их научной достоверности.

ВВЕДЕНИЕ

Современная система высшего образования переживает период активной цифровизации, в ходе которой традиционные формы обучения дополняются инновационными технологиями, основанными на моделировании и виртуализации учебного процесса. Одним из наиболее перспективных направлений является внедрение виртуальных лабораторных работ, позволяющих моделировать реальные физические и технологические процессы в цифровой среде.

Переход к цифровым образовательным технологиям продиктован необходимостью обеспечения качества обучения при ограниченных материальных и временных ресурсах. Особенно это актуально для инженерных направлений подготовки, где проведение реальных лабораторных экспериментов требует сложного оборудования, расходных материалов и соблюдения правил техники безопасности. Виртуальные лаборатории позволяют решить эти проблемы, предоставляя студентам возможность выполнять эксперименты в интерактивной и безопасной форме, при этом сохраняя научную достоверность результатов.

Цель данной статьи – рассмотреть педагогические и методические аспекты использования виртуальных лабораторных работ в инженерном образовании, проанализировать их дидактический потенциал и представить пример лабораторной работы «Испытание материалов на сжатие» как эффективного инструмента формирования профессиональных компетенций.

Педагогическая сущность виртуальных лабораторных работ. Педагогика высшей школы рассматривает лабораторные занятия как одну из основных форм практического обучения, направленную на закрепление теоретических знаний и развитие исследовательских умений. В условиях цифровой трансформации образования их логическим продолжением стали виртуальные лаборатории, сочетающие в себе элементы теоретического моделирования, аналитической деятельности и самостоятельного поиска решений.

С точки зрения дидактики, виртуальные лабораторные комплексы реализуют сразу несколько принципов обучения:

- 1) наглядность – за счёт визуализации сложных физических процессов;
- 2) доступность – возможность работы без ограничений времени и пространства;
- 3) активность и самостоятельность – студент сам управляет процессом, анализирует и интерпретирует результаты;
- 4) интеграция теории и практики – теоретические знания сразу применяются в имитационной деятельности.

Использование виртуальных лабораторий способствует формированию компетентного подхода, когда обучение направлено не только на усвоение знаний, но и на развитие профессиональных умений, аналитического мышления, способности принимать решения на основе экспериментальных данных.

Для выполнения виртуальной лабораторной работы используется персональный компьютер

или ноутбук с операционной системой Windows 7, 8, 8.1 или 10 (64-разрядная).

Минимальные технические требования включают:

- не менее 4 ГБ оперативной памяти;
- процессор не ниже уровня Intel Core2Duo;
- свободное пространство на диске не менее 4 ГБ.

В лабораторной работе применяется специализированный программный комплекс DEFORM Viewer v13.0, предназначенный для визуализации процессов пластического деформирования.

Работа выполняется с использованием трёх модулей:

1. проекционного модуля;
2. базы данных лабораторной работы;
3. модуля расчёта кривой упрочнения.

Программный продукт обеспечивает возможность поэтапного моделирования испытания материала на сжатие с фиксацией результатов каждого шага и последующим построением графических зависимостей.

Цель исследования. Целью исследования является теоретическое обоснование и практическая демонстрация возможностей использования виртуальных лабораторных работ в подготовке студентов инженерных направлений, а также оценка их педагогической эффективности в формировании профессиональных компетенций, развитии аналитического мышления и навыков применения современных цифровых инженерных технологий.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Проанализировать современные подходы к использованию виртуальных лабораторных работ в инженерном образовании.
2. Рассмотреть педагогические и дидактические преимущества виртуальных лабораторий в условиях цифровизации высшего образования.
3. Описать методику проведения виртуальной лабораторной работы «Испытание материалов на сжатие» с использованием программного комплекса **DEFORM Viewer**.
4. Показать особенности моделирования механических испытаний и обработки экспериментальных данных в цифровой образовательной среде.
5. Оценить потенциал виртуальных лабораторных работ для формирования

профессиональных компетенций будущих инженеров.

Пробел в исследованиях. Несмотря на широкое распространение цифровых образовательных технологий, большинство исследований посвящено оценке эффективности виртуальных лабораторий в естественно-научных дисциплинах и общим вопросам цифровизации образования. Вместе с тем недостаточно изучены педагогические и методические особенности использования виртуальных лабораторных работ при подготовке студентов инженерных направлений с применением специализированного программного обеспечения для моделирования технологических процессов. Кроме того, ограничено число исследований, рассматривающих виртуальные лаборатории как средство формирования профессиональных компетенций, развития аналитического мышления и практических навыков работы с современными инженерными цифровыми инструментами.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке и педагогическом обосновании методики проведения виртуальной лабораторной работы «Испытание материалов на сжатие» с использованием программного комплекса DEFORM Viewer. Предложенный подход интегрирует процессы компьютерного моделирования, обработки экспериментальных данных и анализа механических характеристик материалов в единую образовательную среду, обеспечивая формирование профессиональных компетенций будущих инженеров и повышение эффективности практической подготовки в условиях цифровизации высшего образования.

Исследовательские вопросы. Исследование направлено на поиск ответов на следующие вопросы:

RQ1. Какие педагогические преимущества обеспечивает использование виртуальных лабораторных работ при подготовке студентов инженерных направлений?

RQ2. Каким образом применение программного комплекса DEFORM Viewer способствует формированию профессиональных компетенций и развитию аналитического мышления студентов?

RQ3. Насколько использование виртуальных лабораторных работ повышает эффективность практической подготовки будущих инженеров в условиях цифровизации высшего образования?

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Сжатие является одним из основных видов механических испытаний материалов для

определения их прочностных и пластических свойств. Для испытания используются стандартные образцы определенной формы и размеров, регламентированные различными ГОСТами. В данной лабораторной работе будет использоваться цилиндрический образец с диаметром рабочей части 20 мм и длиной 40 мм, определенной по приложению А в соответствии с ГОСТ 25.503-97 - Метод испытания на сжатие для алюминия (образец 3го типа).

Суть испытания на сжатие сводится к следующему. Образец устанавливается на нижнюю плоскую плиту испытательной машины, после чего верхней плоской плите сообщается движение. По мере сжатия образца на его боковой поверхности начинает образовываться утолщение (бочка), при этом также растет диаметр образца в зоне контакта с плитами.

Целью данной работы является построение кривой упрочнения и определение предела текучести испытуемого материала. Кривая упрочнения представляет собой зависимость σ (напряжение течения) – ε (логарифмическая деформация). После ее построения имеется возможность найти предел текучести визуально.

Логарифмическая деформация определяется по формуле:

$$\varepsilon = \ln \left(\frac{h_0}{h_k} \right),$$

где: h_k - длина образца после сжатия;
 h_0 - исходная длина образца.

Напряжение течения определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A_k}$$

где: A_k – площадь поперечного сечения образца после сжатия;

F – усилие сжатия, Н.

Ход выполнения лабораторной работы.

Процесс моделирования включает 30 шагов, каждый из которых соответствует уменьшению высоты образца на 1 мм. Для каждого шага фиксируются геометрические параметры и усилия сжатия.

Этапы работы:

1. Установка необходимых модулей и базы данных.
2. Запуск программы DEFORM Viewer и настройка интерфейса.
3. Включение режима отображения всех шагов моделирования.
4. Просмотр процесса деформации образца.
5. Построение и экспорт графика «Сила – Перемещение».

6. Измерение геометрических размеров (высота, диаметр в зоне бочки, диаметр в зоне торца).

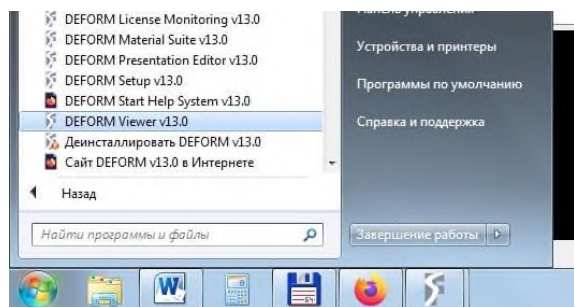


Рисунок 1 – Запуск вьювера из меню Пуск

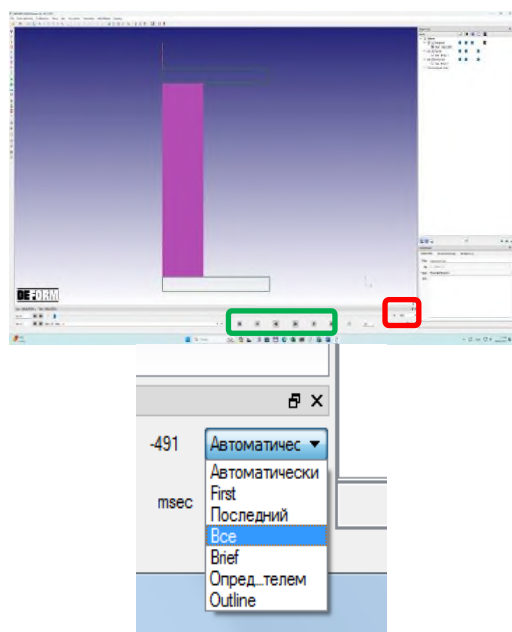


Рисунок 2 – Настройка отображения шагов модели

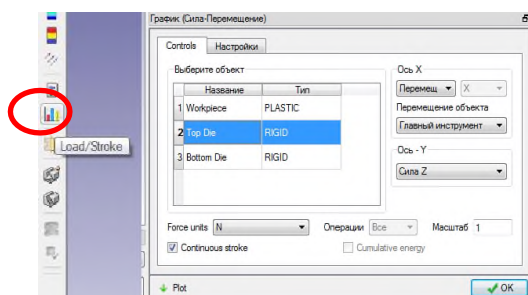


Рисунок 3 – Создание графика усилия

Модель представляет собой осесимметричную модель, т.е. расчет ведется в $\frac{1}{2}$ диаметра заготовки. Для нахождения параметров $\sigma - \epsilon$ необходимо найти определенные геометрические размеры на каждом шаге расчета - диаметр образца в зоне бочки d_{max} , диаметр образца в зоне торца на контакте с плитой dt , а также h_k - длину образца после сжатия.

Для примера найдем данные параметры на 14 шаге. На модели щелкаем правой кнопкой мыши и выбираем «Показать размеры» (рисунок 4а). В результате на заготовке появятся два размера $X = 12,6782$ (R_{max}) и $Y = 26,0002$ (h_k) (рисунок 4б). Для нахождения R_t на панели сверху выбираем линейку (Measurement Tool) и выделяем длину горизонтальной зоны заготовки на верхней грани (11,3138) (рисунок 4в). Записываем полученные данные в соответствующие столбцы модуля расчета, которые выделены цветами.

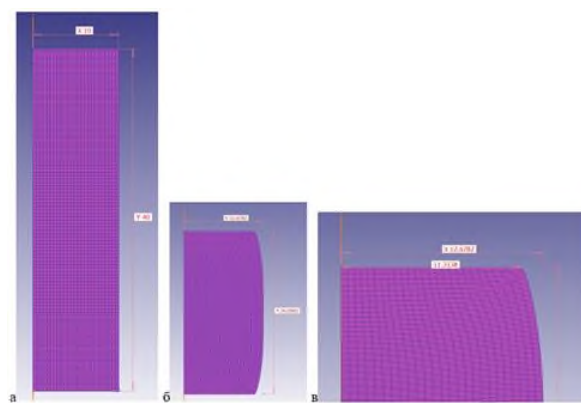


Рисунок 4 – Геометрические размеры для расчета

После ввода всех геометрических размеров и значения усилия, для данного шага будут автоматически рассчитаны показатели $\sigma - \epsilon$ (рисунок 5), после заполнения данных для всех шагов справа будет построена кривая упрочнения алюминия AL1100, по которому будет возможно найти величину предела текучести.

h0, mm	h1, mm	eps	var	F, N	R_max, mm	d_max, mm	R_t, mm	d_t, mm	dk, mm	Al, mm2	sigma
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	1	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	2	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	3	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	4	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	5	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	6	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	7	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	8	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	9	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	10	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	11	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	12	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	13	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	26,0002	0,43078	14	43465,4	12,6782	25,3564	11,3138	22,6276	23,992	452,088	101,01
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	15	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	16	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	17	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!
40	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	18	0	0	0	0	0	0	0	#ДЕЛ/0!

Рисунок 5 – Ввод данных в модуль расчета

Таким образом, студент не только осваивает методику механических испытаний, но и учится работать с инженерными программами, выполнять математическую обработку данных и анализировать результаты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённый анализ показал, что использование виртуальной лабораторной работы «Испытание материалов на сжатие» позволяет эффективно интегрировать теоретическую подготовку студентов с практическим освоением методов механических испытаний материалов. Применение программного комплекса DEFORM Viewer обеспечивает визуализацию процессов пластического деформирования, последовательное выполнение этапов моделирования и обработку экспериментальных данных, что способствует более глубокому пониманию физических закономерностей деформации материалов. Полученные результаты согласуются с выводами метаанализа J. Li и W. Liang (2024), который показал, что использование виртуальных лабораторий оказывает статистически значимое положительное влияние на результаты инженерного образования, особенно на учебную мотивацию, вовлечённость студентов и формирование профессиональных компетенций. При этом авторы подчёркивают, что виртуальные лаборатории являются наиболее эффективным дополнением к традиционным практическим занятиям, а не их полной заменой [7].

Полученные результаты подтверждают, что виртуальные лаборатории не заменяют полностью традиционный лабораторный практикум, однако являются его эффективным дополнением. Их использование позволяет повысить доступность практической подготовки, обеспечить безопасное проведение экспериментов, сократить затраты времени на организацию лабораторных занятий и расширить возможности самостоятельной работы студентов. Полученные выводы согласуются с исследованием Н. Pratama, М. Azman, N. Zakaria и М. Khairudin, в котором было показано, что применение цифровых учебных средств на основе программируемых логических контроллеров (PLC) статистически значимо повышает уровень профессиональных компетенций обучающихся и эффективность освоения инженерных дисциплин. Авторы отмечают, что использование современных цифровых средств обучения способствует более глубокому усвоению практических навыков и повышению учебной мотивации студентов [8].

С педагогической точки зрения виртуальная лабораторная работа способствует развитию самостоятельности обучающихся, формированию исследовательских навыков и аналитического мышления. Возможность пошагового анализа процесса деформации, измерения геометрических параметров образца и последующей математической обработки данных формирует у студентов навыки принятия инженерных решений

на основе экспериментальных результатов. Данный результат соответствует подходу, предложенному А. S. Diwakar и S. B. Noronha, которые отмечают, что эффективность виртуальных лабораторий должна оцениваться не только по академической успеваемости студентов, но и по степени достижения образовательных целей инженерной подготовки, включая развитие практических навыков, инженерного мышления и способности применять знания в профессиональной деятельности [9].

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование подтвердило высокую образовательную эффективность использования виртуальных лабораторных работ при подготовке студентов инженерных направлений в условиях цифровизации высшего образования. Разработанная методика проведения лабораторной работы «Испытание материалов на сжатие» с использованием программного комплекса DEFORM Viewer обеспечивает интеграцию теоретических знаний и практической деятельности, способствует развитию аналитического мышления, исследовательских навыков и профессиональных компетенций будущих инженеров.

Установлено, что применение виртуальных лабораторий позволяет повысить доступность практического обучения, обеспечить безопасное выполнение инженерных экспериментов, сократить материальные затраты на проведение лабораторных занятий и предоставить обучающимся возможность многократного повторения экспериментов для более глубокого освоения учебного материала. Использование компьютерного моделирования также способствует формированию навыков работы с современными цифровыми инженерными технологиями, востребованными в профессиональной деятельности. Виртуальные лаборатории в педагогическом процессе решают ряд дидактических задач:

1. повышение мотивации обучающихся за счёт интерактивности;
2. формирование практических навыков в условиях безопасной среды;
3. развитие аналитического и критического мышления;
4. реализация принципа наглядности и доступности знаний.

С педагогической точки зрения, подобная форма работы способствует переходу от пассивного восприятия информации к активной деятельности обучающегося. Преподаватель при этом выступает не как источник знаний, а как

тьютор, направляющий процесс самостоятельного поиска решения.

Кроме того, использование таких виртуальных лабораторий согласуется с компетентным подходом, требующим формирования у студентов не только знаний, но и практических умений, готовности применять их в профессиональной деятельности.

Результаты внедрения виртуальных лабораторий в учебный процесс показывают:

1. сокращение времени на подготовку к эксперименту;
2. возможность неоднократного повторения опыта для закрепления материала;
3. развитие навыков самообучения и работы с цифровыми инструментами;
4. повышение уровня усвоения теоретических знаний за счёт визуализации физических процессов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенной методики при реализации образовательных программ инженерного профиля в высших учебных заведениях, особенно в условиях ограниченного доступа к дорогостоящему лабораторному оборудованию и необходимости расширения цифровой образовательной среды. В дальнейшем целесообразно провести экспериментальные педагогические исследования с участием обучающихся различных инженерных специальностей, позволяющие количественно оценить влияние виртуальных лабораторий на академическую успеваемость, уровень сформированности профессиональных компетенций и развитие цифровых навыков студентов. Таким образом, виртуальные лабораторные работы можно рассматривать как инновационную форму интеграции теории и практики в системе высшего инженерного образования.

ВКЛАД АВТОРОВ (таксономия CRediT):

А.Е. Ибраева: научное консультирование, концептуализация исследования, разработка методологии, проведение исследования,

разработка и описание виртуальной лабораторной работы, анализ результатов, написание первоначального варианта рукописи.

Г.К. Касимова: формальный анализ, интерпретация результатов исследования, и научное редактирование рукописи.

О.Н. Гуменчук: разработка методических материалов, валидация результатов исследования, визуализация материалов, анализ литературы.

У.Н. Уразалиева: рецензирование и редактирование рукописи, подготовка окончательной версии статьи. Все авторы ознакомились с окончательной версией статьи, одобрили её к публикации и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность НАО «Карагандинский индустриальный университет» за организационную и научно-методическую поддержку исследования, а также Институту металлургии и обогащения АО за содействие в развитии инженерного образования и поддержку при подготовке настоящей статьи.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение материала в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения аналогичной лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 25.503–97, Расчёт и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. Moscow, Russia: Издательство стандартов, 1999.
- [2] B. J. Goodno and J. M. Gere, Mechanics of Materials, 9th ed. Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2021.
- [3] L. E. Reut, Kurs lektsiy i prakticheskikh zanyatij po distsipline «Mekhanika materialov. Rastyazheniye–szhatiye»: Uchebno-metodicheskoye posobiye dlya studentov mashinostroitel'nykh spetsial'nostey. Minsk, Belarus: BNTU, 2011.

- [4] V. R. Kargin, F. V. Grechnikov, and A. G. Shlyapugin, *Modelirovaniye protsessov OMD*. Samara, Russia: Samara State Aerospace University, 2013.
- [5] G. M. Andreeva, *Pedagogika vysshey shkoly: Innovatsionnyye tekhnologii obucheniya*. Moscow, Russia: Akademiya, 2019.
- [6] P. I. Pidkasistyy, *Pedagogika i psikhologiya vysshey shkoly*. Moscow, Russia: Yurayt, 2020.
- [7] J. Li and W. Liang, "Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis," *PLOS ONE*, vol. 19, no. 12, Art. no. e0316269, Dec. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0316269.
- [8] H. Pratama, M. N. A. Azman, N. A. Zakaria, and M. Khairudin, "The effectiveness of the kit portable PLC on electrical motors course among vocational school students in Aceh, Indonesia," *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, vol. 320, no. 1, pp. 75–87, 2022, doi: 10.31643/2022/6445.09.
- [9] A. S. Diwakar and S. B. Noronha, "The effectiveness of virtual labs in engineering education—What do we measure?," *Journal of Engineering Education Transformations*, vol. 30, no. 1, pp. 73–81, Jul. 2016.

REFERENCES

- [1] GOST 25.503–97, *Raschet i ispytaniya na prochnost'. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Metod ispytaniya na szhatiye* [Strength calculation and testing. Mechanical testing methods for metals. Compression test method]. Moscow, Russia: Izdatel'stvo Standartov, 1999. (In Russian).
- [2] B. J. Goodno and J. M. Gere, *Mechanics of Materials*, 9th ed. Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2021.
- [3] L. E. Reut, *Kurs lektsiy i prakticheskikh zanyatiy po distsipline «Mekhanika materialov. Rastyazheniye–szhatiye»: uchebno-metodicheskoye posobiye dlya studentov mashinostroitel'nykh spetsial'nostey* [Course of lectures and practical classes in "Mechanics of Materials. Tension–Compression": Study guide for mechanical engineering students]. Minsk, Belarus: Belarusian National Technical University, 2011. (In Russian).
- [4] V. R. Kargin, F. V. Grechnikov, and A. G. Shlyapugin, *Modelirovaniye protsessov OMD* [Modeling of Metal Forming Processes]. Samara, Russia: Samara State Aerospace University, 2013. (In Russian).
- [5] G. M. Andreeva, *Pedagogika vysshey shkoly: innovatsionnyye tekhnologii obucheniya* [Higher Education Pedagogy: Innovative Teaching Technologies]. Moscow, Russia: Akademiya, 2019. (In Russian).
- [6] P. I. Pidkasistyy, *Pedagogika i psikhologiya vysshey shkoly* [Pedagogy and Psychology of Higher Education]. Moscow, Russia: Yurayt, 2020. (In Russian).
- [7] J. Li and W. Liang, "Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis," *PLOS ONE*, vol. 19, no. 12, Art. no. e0316269, Dec. 2024. doi: 10.1371/journal.pone.0316269.
- [8] H. Pratama, M. N. A. Azman, N. A. Zakaria, and M. Khairudin, "The effectiveness of the kit portable PLC on electrical motors course among vocational school students in Aceh, Indonesia," *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, vol. 320, no. 1, pp. 75–87, 2022. doi: 10.31643/2022/6445.09.
- [9] A. S. Diwakar and S. B. Noronha, "The effectiveness of virtual labs in engineering education—What do we measure?," *Journal of Engineering Education Transformations*, vol. 30, no. 1, pp. 73–81, Jul. 2016.