

Проблемы внедрения методов цифровой поддержки в фундаментальные физико-математические дисциплины

О. И. Ведяйкина, П. А. Хазов, С. С. Шилов

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы внедрения методов цифровой поддержки в фундаментальные физико-математические дисциплины высшего образования на примере строительных вузов. Особое внимание уделяется вопросам интеграции цифровых технологий и виртуальных лабораторных работ на ранних этапах обучения, что способствует повышению эффективности образовательного процесса и подготовке специалистов, ориентированных на современные технологические требования. Анализируются особенности использования цифровых моделей и инструментов в таких дисциплинах, как физика и теоретическая механика. Обосновывается необходимость более ранней и системной цифровизации учебных программ для формирования компетенций, соответствующих современным стандартам науки и инженерии.

Ключевые слова: цифровизация образования, цифровая лабораторная работа, цифровая поддержка установки, высшее образование, цифровая поддержка исследования, физика, теоретическая механика, сопротивление материалов

Problems of implementing digital support methods in fundamental physical and mathematical disciplines

O. I. Vediaikina, P. A. Khazov, S. S. Shilov

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the current problems of implementing digital support methods in fundamental physical and mathematical disciplines of higher education, using the example of construction universities. Special attention is paid to the integration of digital technologies and virtual laboratory work at the early stages of education, which helps to improve the efficiency of the educational process and prepare specialists who meet modern technological requirements. The article analyzes the features of using digital models and tools in disciplines such as physics and theoretical mechanics. The article substantiates the need for earlier and more systematic digitalization of educational programs to develop competencies that meet modern standards of science and engineering.

Keywords: digitalization of education, digital laboratory work, digital installation support, higher education, digital research support, physics, theoretical mechanics, material resistance

Введение

В современном мире цифровизация проникает во все сферы жизни, неуклонно меняя привычные действия и открывая новые горизонты. Стремительное развитие вычислительной техники и компьютерного моделирования позволило достичь уровня, когда создание надежных методик цифровой поддержки (ЦП) экспериментальных исследований становится реальностью. Эта задача распространяется на все области технических наук и промышленного производства – от микроэлектроники до космической индустрии, требуя разработки универсальных и адаптируемых решений [1–4].

Создание и внедрение эффективных методик ЦП для широкого спектра технических исследований открывает возможности для оптимизации производственных процессов, валидации экспериментальных установок, поддержки их жизненного цикла, а также значительного сокращения затрат на исследования и разработки. Это достигается путем использования виртуальных моделей объектов, полностью отражающих геометрию реальных, а также имитирующих все физические процессы, происходящие внутри него или с ним взаимодействующие – цифровых двойников (ЦД). ЦД позволяет учитывать при проведении виртуального эксперимента весь спектр параметров – от температурных режимов и напряжений в материалах до динамических нагрузок и сложных химических реакций, в зависимости от специфики моделируемого объекта. Кроме того, такое внедрение даст возможность осуществлять ЦП испытаний, моделируя различные сценарии работы объекта или системы и анализируя их последствия, не прибегая к дорогостоящим и длительным физическим экспериментам.

Таким образом, развитие технологий ЦД и ЦП исследований является ключевым фактором повышения эффективности разработок во всех областях науки и техники, способствуя созданию более надежных, безопасных и экономичных методик проектирования.

Постановка задачи

Цифровые технологии играют всё более важную роль в научных исследованиях и разработках, поэтому их внедрение в процесс обучения в системе высшего образования становится всё более актуальным вопросом [5]. Однако, если говорить о подготовке инженеров, например, в строительных вузах, то обучение использованию инструментов ЦП зачастую начинается уже слишком поздно. Вместо того чтобы интегрировать эти технологии в учебный процесс на всех этапах обучения, студенты знакомятся с цифровым моделированием, как правило, только на старших курсах, когда начинаются проектирование зданий и сооружений. То есть значительная часть фундаментальных технических дисциплин проходит без использования современных цифровых инструментов, хотя их применение могло бы значительно повысить эффективность обучения и подготовить будущих специалистов к работе с передовыми технологиями [6].

В статье поднимается вопрос внедрения средств ЦП исследований в физико-математические дисциплины первого курса обучения, такие как физика и теоретическая механика [7, 8].

Теория

Фундаментальные физико-математические науки традиционно строятся на глубоком теоретическом понимании базовых концепций и строгих доказательствах, которые часто требуют значительных усилий и временных затрат. Внедрение цифровых технологий в процесс изучения таких дисциплин, как физика, теоретическая механика, сопротивление материалов и др., способствует их более эффективному и доступному освоению. Например, создание и проведение виртуальных экспериментов делает их более наглядными и доступными для детального изучения с возможностью многократного повторения сложных моментов. Применение виртуальных лабораторий позволяет студентам лучше понимать принципы функционирования механических систем и физических процессов, происходящих в них, а также свойства веществ, сред и материалов.

При этом, несмотря на прогресс цифровых технологий, внедрение современных методов ЦП в эти области сталкивается с такими проблемами и ограничениями, как:

- недостаток инфраструктуры: аудитории и лаборатории недостаточно технически оснащены;
- недостаточная интеграция новых подходов: современные образовательные программы часто отстают от быстроразвивающихся технологий;
- нехватка квалифицированного персонала: требуется внедрение курсов повышения квалификации для преподавателей для освоения новых методик обучения;
- бюджетные ограничения вузов: финансовые возможности многих российских вузов ограничены, что снижает темпы внедрения инновационных решений и замедляет модернизацию образовательного процесса.

Для преодоления перечисленных препятствий необходима комплексная стратегия развития высшего образования, предусматривающая обеспечение финансовой поддержки университетских инициатив по внедрению цифровых технологий, повышение квалификации профессорско-преподавательского состава, обновление технических возможностей вузов, формирование новой культуры внедрения методов ЦП в процесс обучения с первых курсов.

Результаты экспериментов

Для проведения анализа существующего формата обучения были отобраны рабочие программы дисциплин (РПД) «Физика» и «Теоретическая механика» российских строительных университетов по профилю «Промышленное и гражданское строительство» очной формы обучения уровня образования «бакалавриат» [9–18]. На основании рабочих программ, которые находятся в общем доступе на официальных сайтах вузов, проанализированы данные по количеству часов, выделенных

на изучение дисциплины, в том числе лабораторных работ, и получаемых в результате компетенциях (табл. 1, 2).

Таблица 1. Показатели из рабочих программ дисциплины «Физика» строительных вузов

| Наименование вуза | Общее количество часов, ч | Количество лабораторных, ч | Получаемые компетенции |
|---|---------------------------|----------------------------|--|
| Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ) | 180 | 34 | ОКП-1.1 ОКП-1.2 ОПК-1.4 ОПК-1.5 ОПК-1.11 |
| Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ) | 216 | 18 | ОПК-1 ОПК-2 |
| Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) | 216 | 32 | ОКП-1.1 ОКП-1.2 ОПК-1.4 ОПК-1.5 ОПК-1.11 |
| Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ) | 180 | 16 | ОКП-1.1 ОКП-1.2 ОПК-1.4 ОПК-1.5 ОПК-1.11 |
| Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ) | 180 | 26 | ОКП-1.1 ОКП-1.2 ОПК-1.4 ОПК-1.5 ОПК-1.7 |

Данные по университетам из рабочих программ в таблицах близки. На изучение физики тратится большее количество часов, при этом на лабораторные работы приходится до 34 часов (см. табл. 1). Согласно РПД, лабораторные работы проводятся на стендах, без внедрения цифровых технологий. По дисциплине «Теоретическая механика» лабораторные работы отсутствуют (см. табл. 2).

Таблица 2. Показатели из рабочих программ дисциплины «Теоретическая механика» строительных вузов

| Наименование вуза | Общее количество часов, ч. | Количество лабораторных, ч. | Получаемые компетенции |
|---|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ) | 144 | 0 | ОПК-1.1 ОПК-3.2 ОПК-6.11 |
| Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ) | 216 | 0 | ОПК-6 ОПК-7 |
| Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) | 144 | 0 | ОПК-1.1 ОПК-6.11 |
| Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ) | 144 | 0 | ОПК-1.1 ОПК-3.2 ОПК-6.11 УК-2.6 |
| Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ) | 144 | 0 | ОПК-3.2 ОПК-1.9 |

Расшифровка кода компетенций, получаемых студентом в результате освоения программы дисциплин «Физика» и «Теоретическая механика» в строительных вузах, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Код и наименование компетенции

| Код | Наименование компетенции |
|------------|--|
| <i>ОПК</i> | <i>Общепрофессиональные компетенции</i> |
| ОПК-1 | Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального |
| ОПК-1.1 | Выявление и классификация физических и химических процессов, протекающих на объекте профессиональной деятельности |
| ОПК-1.2 | Определение характеристик физического процесса (явления), характерного для объектов профессиональной деятельности, на основе теоретического (экспериментального) исследования |
| ОПК-1.4 | Представление базовых для профессиональной сферы физических процессов и явлений в виде математического(их) уравнения(й) |
| ОПК-1.5 | Выбор базовых физических и химических законов для решения задач профессиональной деятельности |
| ОПК-1.7 | Решение уравнений, описывающих основные физические процессы, с применением методов линейной алгебры и математического анализа |
| ОПК-1.9 | Решение инженерно-геометрических задач графическими способами |
| ОПК-1.11 | Определение характеристик процессов распределения, преобразования и использования электрической энергии в электрических цепях |
| ОПК-2 | Способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат |
| ОПК-3.2 | Выбор метода или методики решения задачи профессиональной деятельности |
| ОПК-6 | Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального |
| ОПК-6.11 | Составление расчётной схемы здания (сооружения), определение условий работы элемента строительных конструкций при восприятии внешних нагрузок |
| ОПК-7 | Способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат |
| <i>УК</i> | <i>Универсальные компетенции</i> |
| УК-2.6 | Составление последовательности (алгоритма) решения задачи |

Совместный анализ РПД «Физика» и «Теоретическая механика» выявил существенный пробел в использовании цифровых технологий студентами первых-вторых курсов. Овладение решением задач методами математического (компьютерного) моделирования представлено только в ОПК КГАСУ, но при более внимательном изучении программы курса можно выделить только математическую составляющую этой компетенции в применимости к рассматриваемым фундаментальным дисциплинам.

В остальных изученных программах отсутствуют компетенции, посвященные цифровому моделированию или использованию специализированного программного обеспечения. Лабораторные работы, как правило, проводятся исключительно на реальных экспериментальных стендах либо же сводятся к упрощенным виртуальным аналогам, где от студента требуется лишь элементарное взаимодействие, например нажатие одной кнопки. Такой подход не способствует развитию глубокого понимания физических явлений и ограничивает возможности для формирования необходимых компетенций – студенты не получают достаточного опыта работы с современными программными пакетами для численного моделирования и обработки данных.

Обсуждение результатов

Цифровые технологии могут значительно улучшить преподавание фундаментальных физико-математических дисциплин, таких как физика и теоретическая механика. Их внедрение на ранних этапах обучения, особенно на уровне лабораторных работ, позволит студентам освоить методы моделирования физических явлений. ЦП, выступая в роли виртуальных экспериментов, помогает изучать процессы, дополняя реальные лабораторные установки, при этом обучая основам компьютерного моделирования. Например, в молекулярной физике, помимо традиционного изучения давления в газах, можно исследовать аэродинамическое обтекание как реальный физический процесс, полезный в инженерной практике (рис. 1).

ЦП может быть адаптирована под нужды конкретных направлений и специальностей, в строительных вузах – технических инженеров. Создание ЦД реальных лабораторных стендов позволит не только проводить эксперименты как в физическом, так и в виртуальном пространстве, но получить навыки цифрового проектирования обучающимся (рис. 2).

В курсе теоретической механики (раздел «Кинематика») решаются элементарные задачи движения материальной точки, такие как траектории тел, брошенных под углом к горизонту. Такого плана задачи идеально подходят для освоения основ ЦП исследований, поскольку результаты их компьютерного моделирования легко проверяются «на бумаге».

Такой поэтапный подход включения в цифровую среду, начиная с простых опытов, готовит будущих специалистов к моделированию в дальнейшем сложных физических процессов.

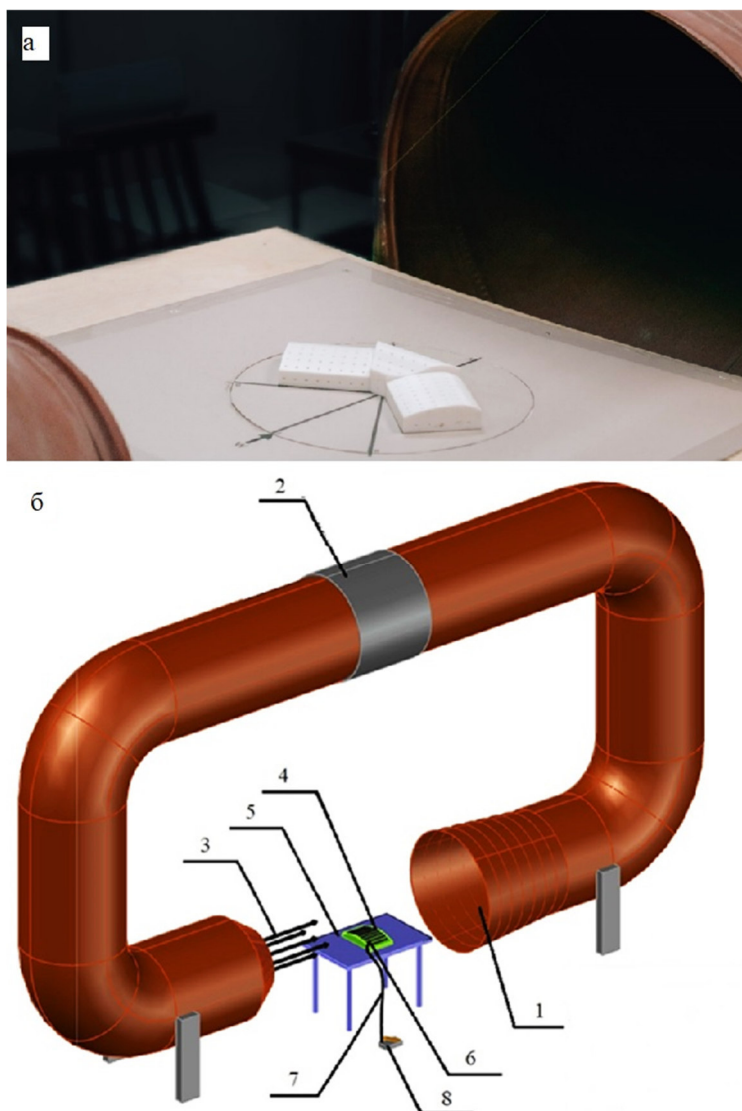


Рисунок 1. Пример проведения аэродинамических параллельных физических (а) и цифровых экспериментальных (б) лабораторных работ

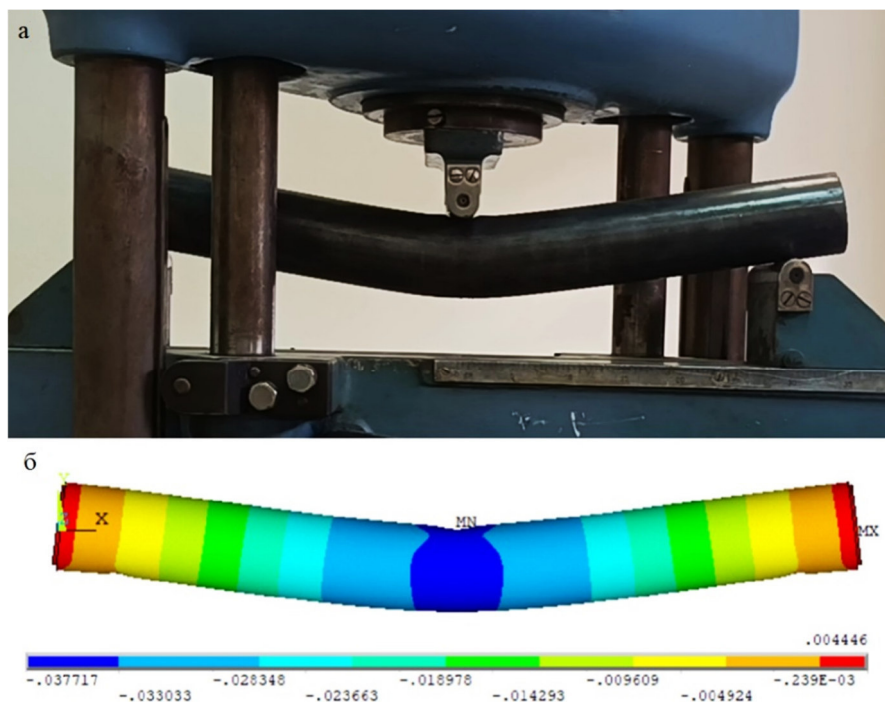


Рисунок 2. Пример проведения параллельных физических (а) и цифровых экспериментальных (б) лабораторных работ по сопротивлению материалов

Выводы

На основе анализа компетенций и рабочих программ по физике и теоретической механике сделано заключение о необходимости цифровизации образовательного процесса по фундаментальным физико-математическим наукам. Отсутствие адекватной цифровой поддержки научных исследований на ранних курсах обучения является серьезным недостатком, препятствующим формированию конкурентоспособных специалистов. Внедрение цифровых инструментов может быть оптимально реализовано в первую очередь путем разработки и внедрения интерактивных виртуальных лабораторий, позволяющих студентам самостоятельно моделировать физические явления, изменять параметры экспериментов и анализировать результаты в режиме реального времени, что позволит глубже вникать в физический процесс происходящего эксперимента.

Интеграция ЦП на начальных этапах обучения способствует повышению качества образовательного процесса и готовит студентов к эффективному решению реальных инженерных задач с применением современных технологий. Несмотря на то что задания по компьютерному проектированию широко распространены, начинать их освоение целесообразно раньше, внедряя цифровые технологии в базовые дисциплины, традиционно решаемые на бумаге. Это обеспечит постепенный переход к активному использованию методов ЦП именно тогда, когда оно станет необходимым компонентом специализированных технических (строительных) курсов.

Успешное введение цифрового обучения продемонстрировано на примере графических предметов, где параллельно изучаются традиционное ручное черчение и работа с системами автоматизированного проектирования (такими как Компас, AutoCAD).

Список литературы

1. Февральских А. В. Компьютерное моделирование аэродинамики пропеллера в российском пакете программ Flowvision // Русский инженер. 2024. № 4 (85). С. 32–35.
2. Ведяйкина О. И., Хазов П. А., Шилов С. С. Алгоритм цифровой поддержки работоспособности малогабаритных аэродинамических экспериментальных установок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Т. 25, № 2. С. 62–71.
3. Сапелкин Р. И., Матренинский С. И., Мищенко В. Я. Цифровой двойник процесса вулканизации материала защитного покрытия из каучукового бетона на поверхности трубного металла // Научный журнал строительства и архитектуры. 2025. № 1 (77). С. 102–110.

4. Рыбкин С. В. Анализ возможностей платформы Delta Design для проектирования интегральных микросхем // Наноиндустрия. 2021. Т. 14, № S7 (107). С. 273–274.
5. Grinshkun V. V., Itinson K. S. Learning digital medical environment as a tool of teaching computer science to medical students // RUDN Journal of Informatization in Education. 2024. Vol. 21, iss. 2. Pp. 169–180.
6. Разработка цифрового двойника туннельной печи / И. В. Салов, И. А. Щербатов, Ю. А. Салова и др. // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 12. С. 102–109.
7. Машиньян А. А., Кочергина Н. В., Бирюкова О. В. Образовательная среда по общей физике в техническом университете // Мир науки. Педагогика и психология. 2022. Т. 10, № 4. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/35PDMN422.pdf>
8. Нагимуллина С. С. Интеграция систем искусственного интеллекта в лабораторный практикум по физике: опыт и перспективы // Вестник педагогических наук. 2025. № 4. С. 318–324.
9. Рабочая программа дисциплины «Теоретическая механика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Квалификация выпускника – бакалавр. Форма обучения – очная. Астрахань: АГАСУ, 2022.
10. Рабочая программа дисциплины «Теоретическая механика» по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений». Квалификация выпускника – инженер-строитель. Форма обучения – очная. Казань: КазГАСУ, 2018.
11. Рабочая программа дисциплины «Теоретическая механика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Уровень образования – бакалавриат. Форма обучения – очная. Москва: МГСУ, 2023.
12. Рабочая программа дисциплины «Теоретическая механика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Уровень образования – бакалавриат. Форма обучения – очная. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2024.
13. Рабочая программа дисциплины «Теоретическая механика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Квалификация выпускника – бакалавр. Форма обучения – очная. Томск: ТГАСУ, 2021.
14. Рабочая программа дисциплины «Физика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Квалификация выпускника – бакалавр. Форма обучения – очная. Астрахань: АГАСУ, 2022.
15. Рабочая программа дисциплины «Физика» по специальности 08.03.01 «Строительство». Профиль – все профили. Квалификация выпускника – бакалавр. Форма обучения – очная. Казань: КазГАСУ, 2018.
16. Рабочая программа дисциплины «Физика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Уровень образования – бакалавриат. Форма обучения – очная. Москва: МГСУ, 2023.
17. Рабочая программа дисциплины «Физика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Уровень образования – бакалавриат. Форма обучения – очная. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2024.
18. Рабочая программа дисциплины «Физика» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль «Промышленное и гражданское строительство». Квалификация выпускника – бакалавр. Форма обучения – очная. Томск: ТГАСУ, 2021.