УДК 378.147:53:004

СОЧЕТАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И ЦИФРОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

А. Г. АННАЕВА
Государственный энергетический институт Туркменистана
Мары, Туркменистан

Экспериментальная подготовка является важной составляющей инженерного образования, поскольку обеспечивает переход от теоретического описания физических явлений к их наблюдению, измерению и интерпретации. Работа с реальными установками формирует навыки обращения с оборудованием, планирования измерений, оценки погрешностей и объяснения расхождений между идеализированной моделью и фактическим процессом. Вместе с тем развитие цифровых образовательных технологий расширяет возможности экспериментального обучения за счет виртуальных лабораторий, интерактивных моделей и компьютерных средств визуализации.

Физический и цифровой эксперименты выполняют разные, но взаимодополняющие функции. В реальном эксперименте обучающийся сталкивается с ограниченной точностью приборов, влиянием внешних факторов, необходимостью настройки установки и соблюдения последовательности операций. Цифровая среда позволяет многократно повторять опыт, изменять исходные параметры, наблюдать процессы, которые трудно непосредственно зафиксировать, и предварительно проверять предполагаемый характер результата. Поэтому цифровой эксперимент целесообразно рассматривать не как замену лабораторной работе, а как средство ее подготовки, расширения и последующего анализа.

Эффективная организация занятия может включать три взаимосвязанных этапа. На подготовительном этапе обучающиеся анализируют физическую модель, формулируют ожидаемый результат и выполняют цифровой эксперимент с изменением основных параметров. На практическом этапе проводится физический опыт с реальным оборудованием, фиксируются измеряемые величины и особенности протекания процесса. На аналитическом этапе результаты двух форм эксперимента сопоставляются, выявляются причины различий, обсуждаются ограничения модели и формулируется инженерное заключение.

Такой подход может применяться при изучении механических колебаний, тепловых процессов, оптических явлений, движения тел, свойств материалов и других разделов общей и технической физики. Принципиально важно, что цифровая модель используется не для получения готового ответа, а для постановки гипотезы и прогнозирования результата. Физический эксперимент, в свою очередь, позволяет проверить этот прогноз в условиях реального измерительного

процесса. В результате обучающийся осваивает не отдельную последовательность действий, а полный цикл экспериментального исследования: постановка задачи – прогноз – наблюдение – измерение – сравнение – интерпретация – вывод.

Современные исследования подтверждают педагогическую целесообразность такого сочетания. Метаанализ 2024 г., включивший 46 исследований из 22 публикаций по инженерному образованию, показал статистически значимое положительное влияние виртуальных лабораторий на образовательные результаты (Hedges' g = 0,686). При этом авторы подчеркивают, что виртуальные лаборатории не способны полностью заменить практические занятия с реальным оборудованием и наиболее перспективным направлением является их осознанная интеграция с физическим экспериментом [1].

Для инженерной подготовки особенно значимым является формирование способности оценивать адекватность модели. Совпадение результатов физического и цифрового экспериментов подтверждает применимость принятых допущений в рассматриваемых условиях. Расхождение результатов становится самостоятельной учебной задачей: необходимо определить влияние погрешности измерений, начальных и граничных условий, идеализации модели, дискретности цифрового представления или неучтенных физических факторов. Такая работа развивает критическое мышление и умение аргументировать инженерные решения.

Интеграция двух форм эксперимента также способствует более рациональному использованию лабораторного времени. Предварительное знакомство с установкой и логикой опыта в цифровой среде позволяет сосредоточить очное занятие на измерениях, наблюдении реальных эффектов и анализе данных. В то же время практическая работа предупреждает формирование представления о цифровой модели как о точной копии реального объекта и демонстрирует границы применимости моделирования.

Таким образом, сочетание физического и цифрового экспериментов следует рассматривать как единый методический подход к экспериментальной подготовке будущих инженеров. Физический эксперимент обеспечивает практический опыт взаимодействия с реальными объектами и измерительной аппаратурой, а цифровой расширяет возможности прогнозирования, визуализации и вариативного исследования. Их последовательное объединение создает условия для осмысленной связи теории и практики, развития исследовательских навыков и формирования инженерного мышления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Li, J.** Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: a meta-analysis / J. Li, W. Liang // PLOS ONE. – 2024. – Vol. 19, № 12. – Art. e0316269.