

Возможности оценки экспериментальных умений по физике с использованием цифровых технологий

**Гиголо
Антон Иосифович**

кандидат технических наук, доцент кафедры радио-физики, антенн и микроволновой техники ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», член комиссии по разработке КИМ для ГИА по физике, gigolo_ai@mail.ru

**Поваляев
Олег Александрович**

кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Научные развлечения», лауреат премии Правительства РФ 2015 в области образования, manager@nau-ra.ru

Ключевые слова: проверка экспериментальных умений, цифровые датчики, модели заданий, экспертное видеонаблюдение.

Важной и неотъемлемой частью физического образования являются демонстрации физических явлений и законов, а также проведение лабораторных работ. Эти виды экспериментальной деятельности позволяют наглядно убедиться в справедливости новых физических знаний, которые далеко не всегда бывают интуитивно понятными. Роль же лабораторной работы в процессе физического познания переоценить просто невозможно. Что может лучше убедить школьника в важности и справедливости нового физического закона, чем проведённый собственными руками опыт, практическое исследование зависимостей физических величин? Трудно поспорить с известным утверждением А. Эйнштейна: «Истина — это то, что выдерживает проверку опытом...», и при изучении физики, особенно на начальных этапах, опыт, как и раньше, остаётся важным элементом познания.

Ещё одна важная составляющая физических лабораторных работ, про которую многие забывают, это формирование начальных инженерных навыков. Перед учащимся поставлена конкретная задача, для выполнения которой необходимо собрать экспериментальную установку, исследовать её работу при различных условиях, провести измерения, выполнить расчёты, а в конце сделать вывод о справедливости того или иного закона или оценить значение какой-либо физической константы. Всё это не только позволяет лучше понять и усвоить теоретический материал, но и увидеть, как это применяется в технических устройствах и может быть использовано в повседневной жизни.

В данный момент мы наблюдаем переход от прежних аналоговых технологий проведения школьного физического эксперимента к новым цифровым способам регистрации и обработки информации. Введение в школьный эксперимент цифровых датчиков для регистрации физических величин и возможности использовать смартфон, планшет или компьютер для расчётов и оформления результатов опытов позволяет

перейти на новый качественный уровень проведения измерений, упростив процесс измерений и повысить их точность. Появление цифровых технологий в лабораторных работах повышает их актуальность и привлекательность в сознании современного школьника.

На сегодняшний день лабораторные и экспериментальные исследования проводятся не только в рамках школьных уроков. Одно из заданий ОГЭ проверяет экспериментальные умения школьника. Так, в задании № 17 необходимо выполнить эксперимент на реальном оборудовании: провести косвенные измерения физических величин, исследовать зависимости между величинами или проверить закономерности. При выполнении этого задания школьник сначала записывает в бланк ответов результаты измерений. Затем эти результаты после сканирования бланков ответов попадают в базу данных ответов участников экзамена и оцениваются автоматически.

К сожалению, серьёзные организационные и технические сложности не позволяют использовать экспериментальные задания на реальном оборудовании при проведении ЕГЭ или ВПР по физике. В «бумажных» измерительных материалах приходится использовать модельные теоретические задания, которые лишь в некоторой степени способны проверить способности обучающихся к проведению экспериментов по физике.

Отсутствие в КИМ ЕГЭ заданий по проверке экспериментальных умений с использованием лабораторного оборудования негативно сказывается на преподавании школьной физики. Повсеместное введение заданий в формате ЕГЭ или ВПР в массовую проверку знаний и вполне понятное стремление учителей как можно лучше подготовить учащихся к выполнению предлагаемых работ приводит в преподавании физики к пренебрежению лабораторными работами.

Переход на компьютерную форму представления измерительных материалов различных оценочных процедур (например, ВПР или ЕГЭ) позволяет предложить новые подходы к оценке экспериментальных умений с использованием цифровых технологий.

1. Использование цифровых датчиков в качестве измерительных инструментов и, соответственно, изменение подходов к проведению прямых измерений физических величин.

2. Использование компьютерной формы регистрации полученных значений, построения графиков и, соответственно, изменение подхода к оформлению экспериментальных заданий.

3. Использование видеонаблюдения за процессом выполнения экспериментальных заданий и, соответственно, изменение подходов к оцениванию этих заданий.

4. Расширение спектра возможных опытов за счёт существенно больших измерительных возможностей датчиковых систем по сравнению с аналоговыми приборами.

Рассмотрим кратко каждое из указанных выше направлений.

При выполнении «классических» лабораторных работ в средней школе в качестве средств измерения традиционно используются линейка или измерительная лента, секундомер, рычажные весы и разновесы, мензурка, динамометр, термометр, стрелочные амперметр и вольтметр. Использование цифровых датчиков позволяет на совершенно другом качественном уровне производить измерения времени, расстояния, иметь возможность регистрировать и наблюдать изменение во времени таких физических величин, как температура, электрическое напряжение, сила тока. Эти возможности позволяют с высокой точностью измерить мгновенную скорость тела, движущегося неравномерно, исследовать изменение температуры с течением времени в процессе установления теплового равновесия, наблюдать в динамике процесс электромагнитной индукции, возникновение и изменение индукционного тока. С использованием традиционных «аналоговых» средств подобные измерения выполнить невозможно.

В качестве примера рассмотрим цифровую лабораторию по физике от компании «Научные развлечения»¹. В неё входят следующие цифровые датчики: датчик

¹ Цифровая лаборатория по физике. Базовый уровень: методическое пособие / О.А. Поваляев, Н.К. Ханнанов, С.В. Хоменко. 4-е изд., испр. и перераб. — М.: ДеЛиБри, 2020. — 108 с.

положения (фиксация четырёх положений тела); датчик силы; датчик абсолютного давления; датчик угловой скорости; датчик ускорения; датчик температуры; датчик влажности; датчик напряжения; датчик силы тока; датчик напряжения осциллографический с двумя измерительными каналами. Приведём краткие описания трёх датчиков цифровой лаборатории по физике от компании «Научные развлечения», которые демонстрируют расширение возможностей в измерении физических величин.

Цифровой датчик давления (абсолютного) выполнен на базе вмонтированного в микросхему пьезорезистивного тензодатчика. Датчик имеет входной штуцер для соединения с объёмом учебной экспериментальной установки, который смонтирован на боковой поверхности корпуса. Компьютерная программа проводит представление данных на мониторе в виде зависимости давления от времени.

Датчик имеет следующие параметры: диапазон измерений — до 200 кПа, погрешность измерения — не более 2%.

Рисунок 1. Цифровой датчик давления



Цифровой датчик ускорения предназначен для измерения ускорения движущихся тел и/или реакции опоры, отнесённой к единице массы. Датчик состоит из чувствительного элемента, вмонтированного в микросхему, и схемы согласования, размещённых в едином корпусе. Датчик устанавливается на движущемся элементе учебной экспериментальной установки и регистрирует проекции ускорения (или реакции опоры, приведённые к единице массы) по трём координатам. Оси чувствительности датчика направлены перпендикулярно граням корпуса датчика. Компьютерная программа проводит представление данных на мониторе в виде зависимости проекций ускорения от времени. Кроме того, на экран

выводится модуль полного ускорения. Выбор выводимых на экран величин осуществляется в специальном окне экрана датчика. Экран датчика также имеет окно переключения диапазонов.

Датчик имеет следующие параметры: диапазон измерений — $\pm 156 \text{ м/с}^2 (\pm 16 \text{ г})$; погрешность измерения — не более 10%.



Рисунок 2. Цифровой датчик ускорения

Цифровой датчик температуры ($-20... + 110^\circ\text{C}$) предназначен для измерения температуры жидких и газообразных химически неактивных сред в демонстрационном и лабораторном эксперименте. Цифровой датчик температуры выполнен на базе полупроводникового чувствительного элемента (терморезистора) и состоит из измерительного щупа и электронного блока. Чувствительный элемент смонтирован на конце щупа — трубки из нержавеющей стали, которая выходит из корпуса датчика. Представление данных на мониторе осуществляется в виде зависимости температуры от времени.

Датчик имеет следующие характеристики: разрешение — $0,1^\circ\text{C}$; погрешность измерения — не более 1°C .



Рисунок 3. Цифровой датчик температуры

Для работы с цифровыми датчиками требуется специальное программное обеспечение, установленное на смартфон, планшет или компьютер. Для коммуникации цифровых датчиков, записи и хранения информации, полученной с их помощью, в комплект цифровой лаборатории входит нетбук с необходимым установленным программным обеспечением.

Возможность внесения в электронные таблицы полученных с помощью датчиков

данных позволяет построить графики зависимостей физических величин на экране компьютера. На основании этих графиков делать выводы о характере зависимости величин от времени или других параметров, проводить аппроксимацию выбранных точек итоговой зависимостью. Эти новые возможности позволяют разумно автоматизировать рутинные процедуры заполнения таблиц, выполнение однотипных расчётов, построение графиков. Выше сказанное позволяет выделить ещё одну новую качественную возможность, которую открывает использование цифровых технологий, оформление электронного отчёта о проделанном эксперименте.

Ещё один цифровой прибор, который входит в состав ноутбука, планшета или смартфона, это *цифровая видеокамера*. Использование программы видеозахвата и дальнейшей обработки фото- и видеофайлов позволяет: устанавливать систему координат; производить измерения координат точек в кадре, расстояния между ними; производить покадровые измерения; переносить данные в электронные таблицы.

На рисунке 4 показан внешний вид программного обеспечения для работы с фото- и видеоматериалами, полученными с помощью веб-камеры ноутбука. Данная программа при покадровой обработке видеофайла позволяет определить зависимость координаты движущегося шарика математического маятника от времени. Подобные возможности позволяют провести экспериментальные исследования

механических колебаний на совершенно новом уровне. Появляется возможность построить временные зависимости координаты, скорости, достоверно определить амплитуду колебаний. Подобные измерения традиционным визуальным способом, используя только секундомер и линейку, выполнить невозможно.

Использование при выполнении эксперимента компьютера позволяет на совершенно ином уровне подойти к оформлению результатов экспериментальных заданий. Цифровая фотокамера позволяет сфотографировать собранную экспериментальную установку и прикрепить фотографию в электронный отчёт. По прикреплённой фотографии можно судить о том, насколько правильно собрана экспериментальная установка, а значит, предварительно судить о том, насколько правильно был выполнен эксперимент, и сделать вывод о достоверности представленных экспериментальных данных.

Все необходимые экспериментальные результаты собираются в электронных таблицах отчёта для дальнейших расчётов, построения графиков, могут быть записаны с формы и переданы для дальнейшей проверки. При этом полностью исключается использование бумажных бланков, необходимость их дальнейшего сканирования и распознавания, а значит, и появление неизбежных ошибок при этом.

Приведём примеры нескольких групп заданий, которые можно реализовать только при использовании цифровых датчиков.

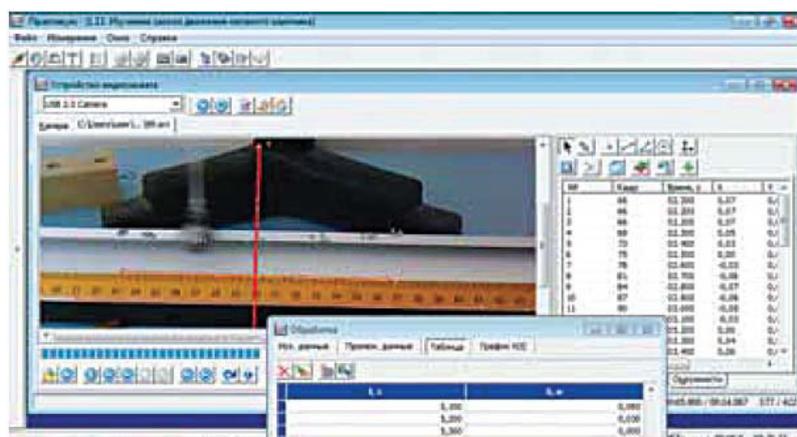


Рисунок 4. Использование веб-камеры для определения координат и моментов времени при исследовании движения тела

Группа заданий на построение графиков зависимостей физических величин и объяснение полученной зависимости (пример 1).

Пример 1

Исследуйте зависимость координаты от времени для движения бруска по наклонной плоскости. Общий вид экспериментальной установки по исследованию зависимости координаты бруска от времени изображён на фотографии. Расположите 4 датчика движения вдоль направляющей на равном расстоянии.



1. Получите график зависимости координаты от времени для движения бруска по наклонной плоскости для угла наклона к горизонту, равного 30° .

2. Выберите вид аппроксимирующей зависимости и определите ускорение бруска.

Экспериментальная установка содержит направляющую скамью, закреплённую на штативе, с вершины которой будет соскальзывать брусок. При движении бруска магнит на его корпусе будет проходить около герконов. После достижения бруском нижней точки скамьи останавливаем измерения. На экране отобразится четыре импульса замыкания герконов. Измерив с помощью маркеров моменты времени, в которые брусок проезжал мимо датчиков, у учащихся появляется возможность построить график зависимости координаты движущегося тела от времени (рис. 5).

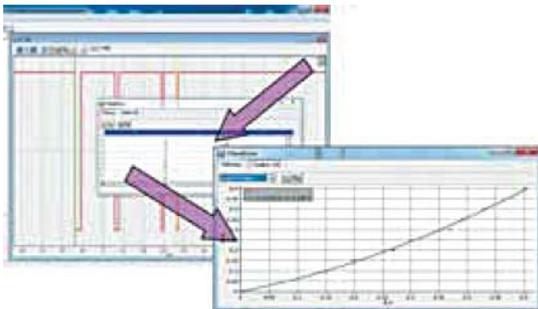


Рисунок 5. Общий вид окна программы построения временной зависимости

В программе построения графиков можно выбрать вид аппроксимирующей зависимости в виде квадратичной $y(x) = Ax^2 + Bx$. Программа позволяет рассчитать коэффициенты параболы и сравнить их с характеристиками движения

бруска $x(t) = v_0t + \frac{at^2}{2}$, что позволяет также

получить значение ускорения бруска и скорость, с которой он двигался мимо первого датчика.

Использование цифровых датчиков определения положения тела для определения мгновенной скорости тела позволяет провести проверку закона сохранения полной механической энергии с помощью нитяного маятника (пример 2).

Пример 2

Соберите экспериментальную установку для проверки закона сохранения механической энергии при движении маятника. Общий вид экспериментальной установки представлен на фотографии.



Отклоните нить с шариком на 90° и отпустите.

1. Измерьте скорость, с которой шарик проходит нижнюю точку своей траектории, с помощью пары совмещённых датчиков положения тела.

2. Определите начальную потенциальную энергию шарика относительно положения равновесия и кинетическую энергию при прохождении положения равновесия.

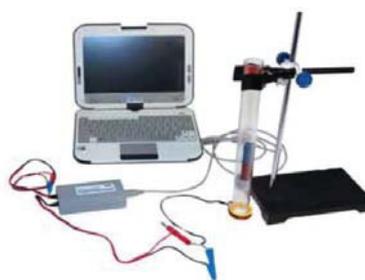
3. Сравните значения энергий и сделайте вывод.

Измерение длины подвеса шарика позволяет рассчитать его начальную потенциальную энергию. Проведённые измерения позволяют рассчитать потенциальную и кинетическую энергии шарика, сравнить их и сделать вывод о сохранении механической энергии.

Пример 3

Постоянный магнит начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью и пролетает сквозь закреплённую проволочную катушку. При пролёте через катушку магнит создаёт в ней электрический ток. Изучите движение магнита через проволочную катушку.

Общий вид экспериментальной установки изображён на фотографии. В штативе закрепляется пластиковая трубка, внутри которой свободно падает постоянный магнит. Проволочная катушка надевается на трубку и подключается к цифровому осциллографу.



1. При помощи установки получите график зависимости силы тока в кольце от времени для двух случаев, различающихся скоростью, с которой магнит пролетает катушку.

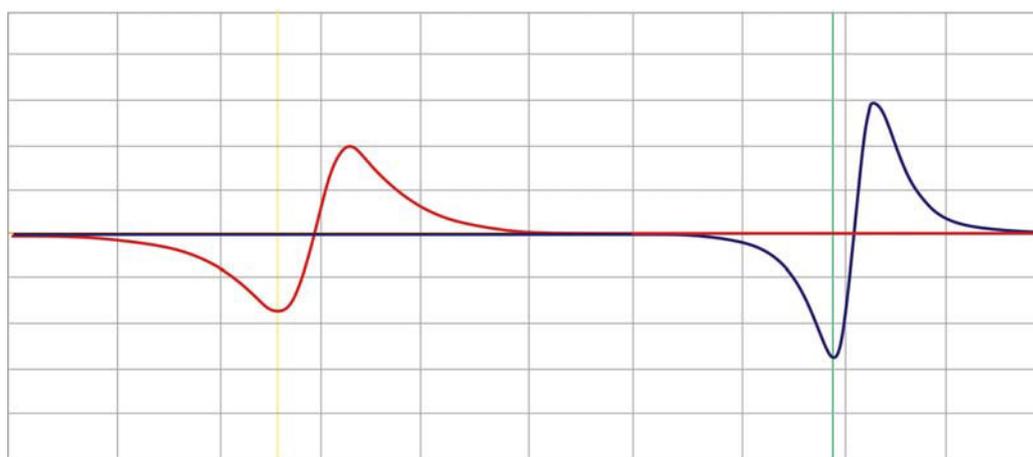
2. Объясните ход графика и наблюдаемые различия для двух опытов. Укажите, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

Использование цифрового осциллографического датчика позволяет перевести эксперименты в электромагнетизме на совершенно иной качественный и количественный уровень в том случае, когда дело доходит до исследований нестационарных процессов, таких как исследование явления электромагнитной индукции и цепей переменного тока.

Традиционно такое явление, как электромагнитная индукция, демонстрируется на качественном уровне, показывается зависимость силы и направления индукционного тока, возникающего в катушке, при изменении скорости внесения маг-

нита, его полярности. Но при использовании стрелочного амперметра невозможно получить временную зависимость силы тока, можно лишь говорить факте появления тока, но никак не охарактеризовать его количественно. Использование такого оборудования позволяет ввести в измерительные материалы экспериментальных заданий на объяснение наблюдаемых процессов (пример 3).

При пролёте магнита сквозь катушку изменяется магнитный поток, возникает явление электромагнитной индукции и в катушке протекает импульс тока, временная зависимость которого регистрируется



Расстояние от старта 5 см
 $U_{\min} = 0.5 \text{ В}$

Расстояние от старта 20 см
 $U_{\min} = 0.87 \text{ В}$

Рисунок 6. Осциллограммы ЭДС индукции, возникающей в катушке, при различной начальной высоте падения магнита

и записывается в память компьютера. Обучающиеся должны отпускать магнит с разной высоты, меняя тем самым скорость изменения магнитного потока, получают график, приведённый на рис. 6.

На этой установке можно изменять полярность магнита, запуская магнит северным или южным полюсом вниз, получать разное направление индукционного тока. Запускать магниты разной длины или различной индукцией магнитного поля. Все эти исследования позволят наглядно и убедительно увидеть и понять закономерности, от которых зависит явление электромагнитной индукции, проверить закон Фарадея для электромагнитной индукции и пронаблюдать справедливость правила Ленца.

В данной работе проведён обзор возможностей существующей цифровой лаборатории по физике от компании «Научные развлечения» для выполнения экспериментальных заданий в оценочных процедурах по физике. Введение в оборудование для

проведения ВПР и ГИА цифровых датчиков для регистрации физических величин и использование возможностей смартфона, планшета или ноутбука для расчётов и оформления результатов опытов позволит перейти на новый качественный уровень оценки экспериментальных умений обучающихся. Появление цифровых технологий в оценочных процедурах повысит их актуальность и привлекательность в сознании современного школьника.

Работа выполнена в рамках проекта «Проектирование структуры и содержания цифрового инструментария для оценки учебных достижений по физике в системе общего образования» — одного из проектов Российского фонда фундаментальных исследований в рамках общего направления «Трансформация содержания общего образования в результате использования учащимися в работе и аттестации цифровых ресурсов (инструментов, источников, сред, сервисов), применения цифровых платформ и цифрового мониторинга».