

М.И. Старовиков, И.В. Старовикова
Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск, Россия

НАТУРНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ФИЗИКЕ

Обосновывается целесообразность более широкого включения натурно-вычислительного эксперимента в учебный процесс общеобразовательных школ и профессиональных учебных заведений. Рассмотрена структура натурно-вычислительного эксперимента, что необходимо для его адекватного представления в содержании обучения. Описаны исследовательские действия, выполняемые при постановке натурно-вычислительного эксперимента. Рассмотрены методики организации и проведения занятий практикума, предусматривающие как фронтальное выполнение работ, так и выполнение работ «по кругу». Приводятся примеры выполнения лабораторных работ по физике в форме натурно-вычислительного эксперимента. Сформулированы педагогические следствия использования натурно-вычислительного эксперимента в учебном процессе, которые раскрывают его высокий образовательный и развивающий потенциал.

Ключевые слова: учебный эксперимент, натурный эксперимент, вычислительный эксперимент, лабораторный практикум по физике.

В настоящее время сложно представить себе проведение научных исследований без использования компьютера и связанных с ним информационных технологий. По нашей оценке, наибольший положительный эффект применение информационно-компьютерных технологий дает при анализе данных, полученных в натурном эксперименте и моделировании. При постановке натурального эксперимента компьютер позволяет реализовать самые совершенные в математическом отношении методы обработки результатов измерений (вычислительные, графические, статистические). Для компьютерного моделирования в форме вычислительного эксперимента характерно получение дедуктивным путем больших массивов количественной информации об исследуемом объекте. В соединении натурный и вычислительный эксперименты дают системный эффект повышения эффективности исследования. Представляются очевидными следующие преимущества натурно-вычислительного эксперимента (НВЭ) в сравнении с натурным:

- увеличение объема искомой информации о предмете исследования; возможность получения информации о свойствах изучаемого объекта при таких условиях, при которых постановка натурального эксперимента невозможна или затруднительна;
- повышение точности и достоверности (вероятностной значимости) полученных результатов за счет использования как опытного, так и логического критериев их верификации;
- возможность определения границ применимости теоретического знания к условиям той экс-

периментальной ситуации, в которой реализуется изучаемое явление;

- повышение вероятности решения поставленной задачи и постижения сущности изучаемого явления.

Отметим также, что НВЭ выступает как едва ли не единственно возможный метод изучения сложных, многофакторных, стохастических систем, не поддающихся аналитическому описанию.

Таким образом, в современной науке НВЭ является одним из наиболее характерных, продуктивных и перспективных познавательных методов. Этим обусловлена необходимость его представления в содержании обучения в общем и профессиональном образовании.

Несмотря на отмеченные достоинства, в учебном процессе НВЭ реализуется недостаточно. Натурный и вычислительный эксперименты изучаются в различных предметных дисциплинах (натурный – главным образом в естественнонаучных дисциплинах, вычислительный – как правило, в курсе информатики). В методологической и учебной литературе эти методы описываются как совершенно разные, не связанные между собой. В методических публикациях можно найти лишь единичные примеры описаний лабораторных работ по физике, предусматривающих «интеграцию» натурального и вычислительного (или «виртуального») эксперимента (например, [1]).

На наш взгляд, такое положение дел обусловлено недостаточным развитием соответствующего методологического и учебно-методического обеспечения. Кроме того, более широкому внедрению

НВЭ в учебный процесс препятствует наличие межпредметных «разграничительных линий».

Рассмотрим некоторые логико-методологические особенности НВЭ, имея в виду прежде всего физический эксперимент. В нашем понимании его компонентный состав и связи между компонентами можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1. Натурный эксперимент осуществляется в границах блока А, обозначенного пунктирными линиями. Его основными структурными компонентами являются субъект (экспериментатор), материальные средства (приборы и оборудование), материальный объект исследования (образец), совокупность устанавливаемых свойств которого составляет предмет исследования [2]. Структуру вычислительного эксперимента (блок В) образуют субъект, материальные средства для реализации и исследования модели (компьютер и периферийные устройства), эмпирическая и теоретическая модели предмета исследования. Стрелки на схеме символизируют следующие связи между компонентами: 1 – управляющие воздействия субъекта на экспериментальную установку; 2 – воздействия на объект; 3 – отклик объекта; 4 – первичные данные о предмете исследования; 5, 6 – взаимодействие субъекта со средствами материализации и исследования моделей; 7 – воздействия на эмпирическую модель; 8 – информация от эмпирической модели; 9 – воздействия на теоретическую модель; 10 – информация от теоретической модели.

Как правило, натурный эксперимент не заканчивается фиксацией результатов измерений и наблюдений. На следующем этапе осуществляется их обработка и интерпретация. Полученные данные представляются в виде таблиц и графиков, производится вычисление косвенно определяемых величин, оцениваются погрешности результатов измерений и их вероятностная значимость, методами регрессионного анализа устанавливаются функциональные связи между величинами и т.д. Совокупный продукт этих действий, зафиксированный на каком-либо носителе (бумажном, электронном и т.д.), репрезентирует (представляет) и замещает предмет исследования и, следовательно, может рассматриваться как его модель. Эта модель является эмпирической, поскольку в ней основными элементами являются опытные данные.

Возникает вопрос, для чего процесс и результат обработки экспериментальных данных описывать в терминах метода моделирования? Ответ состоит в следующем. Модель позволяет не только производить необходимые вычисления и графические построения, но и осуществлять ее исследование, выполнять с ней множество исследовательских процедур. Возможности для исследования модели многократно возрастают, если обработка данных осуществляется на компьютере. При этом необходимым условием эффективного взаимодействия с моделью является ее интерактивность.

Назовем некоторые исследовательские действия, которые можно осуществлять с эмпириче-

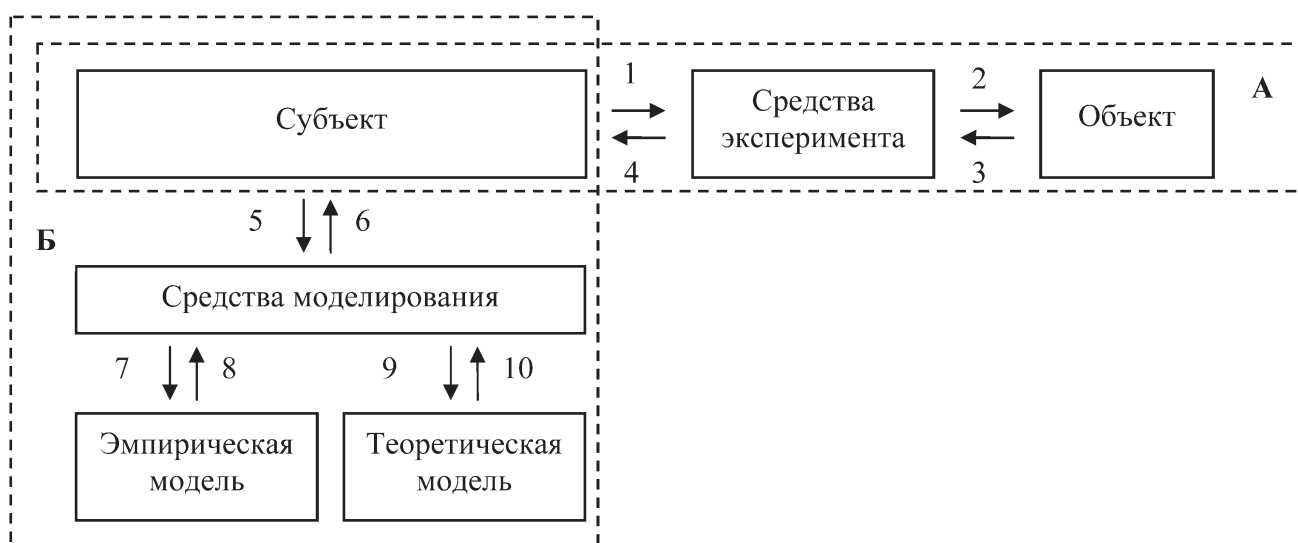


Рис. 1. Структура натурно-вычислительного эксперимента

ской моделью. При этом здесь и далее будем иметь в виду использование в качестве программной среды табличного процессора MS Excel. Данная программа обладает всем необходимым «функционалом» для проведения учебных исследований, обеспечивает высокую степень интерактивности моделей и не требует значительных затрат времени на обучение студентов ее использованию.

1. Оценка погрешностей косвенно определяемых величин путем варьирования результатов прямых измерений в пределах их погрешностей. Введем в компьютер *расчетную* формулу $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ и вычислим по ней *действительное* значение искомой величины, подставляя *действительные* значения величин x_i . Зафиксируем полученный результат как $y_{\text{действ}}$. Далее произведем вычисление величины y , заменив действительное значение аргумента x_1 одним из его *граничных* значений $(x_1 + \Delta x_1)$ или $(x_1 - \Delta x_1)$, здесь Δx_1 – граница погрешности величины x_1 . Получим несколько отличающееся от $y_{\text{действ}}$ значение, которое обозначим как $y_{\text{гр1}}$. Модуль разности $|y_{\text{гр1}} - y_{\text{действ}}| = \Delta y_1$ есть погрешность искомой величины, обусловленная погрешностью определения величины x_1 . Аналогичным порядком можно найти погрешности Δy_i , вносимые за счет погрешностей каждой из величин x_i . Наконец, для нахождения результирующей погрешности Δy «просуммируем» ее составляющие («частные погрешности»):

$$\Delta y = \sqrt{\sum_i (\Delta y_i)^2}.$$

Достоинства этого метода состоят в простоте (для его реализации не требуется вычисление производных), точности и сравнительно невысокой трудоемкости. Кроме того, метод отличается наглядностью, он позволяет проследить и проанализировать вклад погрешности каждого фактора x_i в результирующую погрешность.

2. Построение графиков зависимостей определяемых в опытах величин с использованием различных функциональных масштабов и указанием полосы погрешностей, построение аппроксимирующих кривых различными методами, нахождение вида аппроксимирующих функций и их параметров с применением регрессионного анализа, оценка статистической неопределенности коэффициентов аппроксимирующих функций. При анализе графиков можно варьировать дан-

ные, по которым построены графики, в пределах их погрешностей; выявлять и исключать промахи (заведомо ошибочные результаты измерений); дополнять имеющиеся данные новыми результатами измерений. Во всех случаях можно сразу же наблюдать изменение хода графиков как результата этих действий.

Глубина и содержательность экспериментального исследования существенно повышаются, если эмпирическая модель предмета исследования дополняется его теоретической моделью. Теоретическая модель отличается от эмпирической тем, что в ней ведущими элементами являются знания о причинах, механизмах, происхождении, закономерных связях наблюдаемых в опыте явлений. В «точных» науках, например в физике, закономерные связи между величинами чаще всего описываются на языке математических формул, что позволяет исследовать модель математическими средствами в вычислительном эксперименте.

В учебном эксперименте, как правило, изучаются явления, которые уже описаны в рамках той или иной теории. Поэтому полученные экспериментальные данные должны быть интерпретированы (истолкованы, объяснены) обучаемыми с позиций соответствующей теории. В лабораторных работах теоретическая модель чаще всего используется для вычисления тех величин, определение которых составляет цель натурального эксперимента. При этом в качестве исходных данных для вычислений, как и в эмпирической модели, используются результаты измерений. Однако состав результатов измерений, а также формулы, по которым производятся вычисления, иные, нежели в эмпирической модели.

Теоретическая модель может использоваться для решения следующих задач:

- прогнозирование значений искомых величин и оценка точности их определения;
- обнаружение с помощью графиков интервалов возрастания и убывания контролируемых величин, линейного или нелинейного характера их связи, положения максимумов или минимумов изучаемых зависимостей, периодического или аperiodического характера процессов и т.п. Например, в работе по исследованию энергетических закономерностей цепи постоянного тока априори можно определить положение максимума полезной мощности P на графике $P(R)$ при $R = r$

(где R и r – соответственно внешнее и внутреннее сопротивление). В опытах по исследованию зависимости периода колебаний физического маятника в форме стержня от параметра a (расстояние от оси качаний маятника до его центра масс) может быть определен минимум в точке

$$a = \frac{L}{\sqrt{12}} \quad (L - \text{длина стержня}) \text{ и т.п.}$$

Очевидно, эмпирическая модель может быть построена только после постановки натурального эксперимента. Что касается теоретической модели, то возможны следующие варианты ее построения и использования при выполнении лабораторной работы:

- модель строится и используется до постановки натурального эксперимента, а затем используется также и после его постановки;

- модель строится и используется только после постановки натурального эксперимента.

Построение теоретической модели до постановки натурального эксперимента позволяет решать следующие педагогические задачи:

- ознакомление обучающихся с теорией предмета исследования;

- обнаружение характерных особенностей изучаемого явления и планирование натурального эксперимента таким образом, чтобы эти особенности не остались незамеченными;

- контроль преподавателем готовности обучающихся выполнять натуральный эксперимент (при обсуждении результатов моделирования).

Построение теоретической модели после постановки натурального эксперимента позволяет провести проверку степени согласованности данных «теории» и «эксперимента», что обычно осуществляется построением соответствующих графиков на одной координатной плоскости. При этом реализуются те преимущества НВЭ, которые перечислены в начале данной статьи.

Постановка лабораторных работ физического практикума в форме НВЭ требует разработки соответствующей методики организации и проведения занятий. Нами разработаны и практикуются варианты такого рода методик, предусматривающие как фронтальное выполнение работ, так и выполнение работ «по кругу».

Прежде всего, отметим необходимость размещения персональных компьютеров непосредственно в физической лаборатории, их количе-

ство должно соответствовать числу микрогрупп студентов.

Фронтальное выполнение работ используется преимущественно для первоначального ознакомления обучаемых с порядком постановки НВЭ. При таком способе выполнения работ тексты с рекомендациями, как правило, использовать нет необходимости. Задание к работе формулирует преподаватель. Обучаемые записывают задание в тетрадь, тем самым они начинают оформление «бумажной» части отчета. В обобщенной модели деятельности по выполнению учебного НВЭ выделяем пять этапов: 1) планирование исследования; 2) построение и исследование теоретической модели; 3) получение первичных данных в натурном эксперименте; 4) построение и исследование эмпирической модели; 5) обработка и интерпретация полученных данных с применением как теоретической, так и эмпирической модели. Как отмечено выше, теоретическая модель (этап 2) может быть построена и после постановки натурального эксперимента.

На этапе планирования исследования преподаватель организует коллективную деятельность по актуализации уже изученного материала и усвоению новых элементов знания об исследуемом явлении. Результатом этой деятельности является получение расчетной формулы (формул), определение состава контролируемых величин и способа их определения. Положения теории, лежащей в основе исследования, и полученная расчетная формула (формулы) заносятся в отчет под заголовком «Актуализация теоретических знаний, вывод расчетной формулы».

Затем на рабочем листе MS Excel строится теоретическая модель исследуемого явления, с помощью которой решаются сформулированные выше задачи. Модель включает: 1) название работы; 2) блок ячеек, в которые записаны параметры модели; 3) результаты вычислений с использованием полученных формул, представляемых, как правило, в виде таблиц; 4) графики. В силу ограниченности учебного времени теоретическая модель может предоставляться обучаемым в «готовом» виде.

Далее с использованием расчетной формулы осуществляется анализ точности определения контролируемых величин в натурном эксперименте. В отчет результаты этого анализа включаются под заголовком «Предварительная оценка погрешностей измерений».

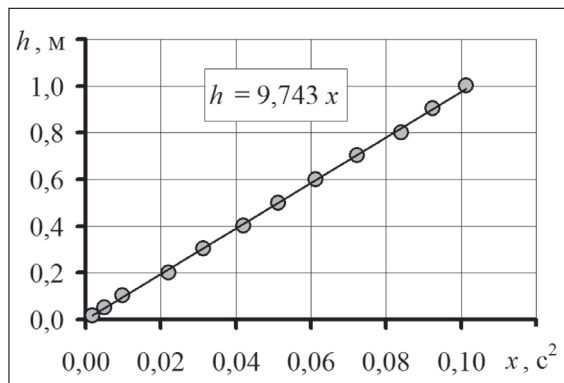


Рис. 2. Зависимость пройденного шариком пути от времени в линейных координатах

После выявления источников погрешностей измерений планируются меры по их минимизации. Это достигается изоляцией исследуемого явления, выбором оптимальных диапазонов измерений, увеличением числа измерений и т.п. В отчете эта часть разработки плана отражается под заголовком «Условия проведения измерений».

Планирование натурального эксперимента завершается разработкой формы таблицы для записи первичных экспериментальных данных. Форма таблицы, а также объем измерений, способ нахождения искомой величины и оценки точности ее определения планируются с учетом обработки данных на компьютере.

На этапе получения первичных данных осуществляются сборка, наладка и тестирование экспериментальной установки, подготовка образцов, выполнение измерений и наблюдений, фиксирование их результатов. Эти действия, как правило, осуществляются микрогруппами студентов по два человека.

Далее строится эмпирическая модель явления, с помощью которой выполняются исследовательские действия, описанные выше.

На заключительном этапе работы проводится анализ и интерпретация полученных данных с применением как теоретической, так и эмпирической моделей. Итоги работы, выполненной каждой микрогруппой обучаемых, обсуждаются и рефлексированы. Отметка о выполнении работы выставляется по результатам этого обсуждения.

При выполнении лабораторных работ «по кругу» учебная деятельность организуется с использованием описаний лабораторных работ,

которые предъявляются на «бумажном» или «электронном» носителе. Описания содержат рекомендации к постановке как натурального, так и вычислительного эксперимента, а также указания по совместному применению эмпирической и теоретической моделей к изучению явления. Обе модели предъявляются преподавателю для проверки и обсуждения непосредственно на экране монитора. При этом всегда находится повод для беседы, в ходе которой выявляются достоинства и недочеты работы. Отметка о выполнении работы выставляется по результатам этого обсуждения после устранения недочетов и ответов на контрольные вопросы.

Рассмотрим примеры выполнения лабораторных работ по физике в форме НВЭ.

Пусть в учебном эксперименте требуется определить ускорение свободного падения с использованием установки, включающей стальной шарик, подвешиваемый к электромагниту, концевой выключатель, электронный секундомер, линейку. Установка позволяет измерять расстояние h , пройденное шариком при свободном падении, и время t падения. Движение шарика описывается формулой

$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

Введем обозначение $x = \frac{t^2}{2}$, тогда

исходная формула примет вид линейной функции $h = gx$. В опытах проводится серия *совместных* измерений величин h и t . Искомая величина g определяется как угловой коэффициент из графика $h(t)$. Результаты одного из экспериментов представлены на рис. 2. Как видно, с заведомо избыточным числом значащих цифр искомая величина выражается в виде $g = 9,743 \text{ м/с}^2$, что меньше ее табличного значения для той географической широты, на которой проводились измерения. При проведении повторных серий измерений получается аналогичный результат. Следовательно, ошибка является систематической. Из рассмотрения различных предположений (гипотез) о причинах наблюдаемой погрешности выбираем следующее. Вследствие явления самоиндукции время размагничивания электромагнита конечно, поэтому шарик начинает движение с задержкой Δt . Создадим на листе Excel новый столбец значений времени t_1 падения шарика таким образом, чтобы от каждого из измеренных значений можно было вычесть поправку Δt . Построим график $h(t_1)$, выведем уравнение регрессии на

координатную плоскость. Перебором Δt можно добиться того, что измеренное значение g станет практически равным табличному (Δt при этом составит величину порядка 0,01 с). Тем самым выдвинутое предположение находит подтверждение. Для его экспериментального подтверждения установим силу тока в электромагните на минимально возможном уровне, необходимом для удержания шарика. Проведение измерений при этом условии (и оперативный пересчет данных на уже имеющемся листе Excel) действительно приводит к повышению точности определения искомой величины.

Таким образом, при выполнении данной лабораторной работы оказалось возможным провести небольшое исследование, результатом которого стало выявление источника погрешности измерения времени падения шарика, оценка этой погрешности, ее устранение и повышение точности определения искомой величины. Реальную возможность выполнения исследовательских процедур (оперативный пересчет данных с требуемой точностью, построение графиков и уравнений регрессии методом наименьших квадратов) обеспечивает использование эмпирической и теоретической моделей.

Следующий пример показывает применение более сложной теоретической модели в учебном НВЭ. В лабораторных практикумах по физике широко представлена работа по определению вязкости жидкостей путем определения установившегося значения скорости шарика при его падении в этих жидкостях. В основе метода лежит закон Стокса: $F = 6\pi\eta rv$, где F – сила вязкого трения, действующая на шарик; r – радиус шарика; v – его скорость; η – искомая величина вязкости среды.

Основное ограничение в применении данного метода связано с необходимостью обеспечения ламинарности обтекания шарика. Показателем характера течения или обтекания, как известно, служит число Рейнольдса: $Re = \frac{\rho dv}{\eta}$, где ρ – плотность среды; d – характерный размер движущегося тела; v – скорость потока. Вместе с тем значение Re зависит от конфигурации тел, степени возмущенности потока, характера поставленной задачи и других факторов. В случае падения шариков в «бесконечной» среде

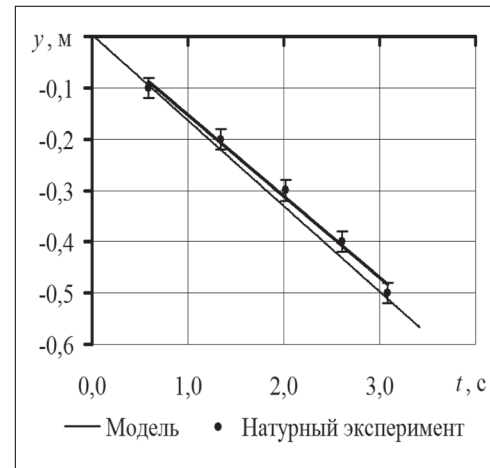


Рис. 3. Графики зависимости пройденного шариком расстояния от времени, полученные в натурном эксперименте и на модели

обычно принимается, что ламинарность обтекания обеспечивается при значениях $Re \leq 10$. Однако опыт выполнения лабораторных работ показывает, что даже при таких малых значениях Re обтекание не является вполне ламинарным. Об этом свидетельствует заметный разброс результатов измерения вязкости глицерина при использовании шариков разных размеров.

Представленная ниже методика постановки данной лабораторной работы, предусматривающая совместное использование натурального и вычислительного экспериментов, позволяет учесть вклад турбулентной (вихревой) составляющей в силу вязкого трения и за счет этого повысить точность измерения вязкости.

Моделирование движения шарика в глицерине осуществляется с помощью формулы, выражающей второй закон Ньютона в проекциях на вертикальную ось OY :

$$m \frac{dv_y}{dy} = -mg + F_A - F_{cy}, \quad (1)$$

где mg – модуль действующей на шарик силы тяжести; F_A – модуль силы Архимеда; v_y – проекция скорости шарика; F_{cy} – проекция силы сопротивления:

$$F_{cy} = k_1 v_y + k_2 v v_y. \quad (2)$$

В последней формуле, согласно закону Стокса, $k_1 = 6\pi\eta r$. Коэффициент k_2 рассчитывается по формуле: $k_2 = 0,5c\rho S$, где коэффициент c зависит от формы тела (для сферического тела он равен 0,4);

ρ – плотность среды, в которой движется тело; $S = \pi r^2$ – площадь поперечного сечения шарика. Первое слагаемое в формуле (2) доминирует при малых скоростях, когда имеет место ламинарное обтекание тела, второе – при больших скоростях, в условиях турбулентного обтекания.

Дифференциальное уравнение (1) решаем методом Эйлера первого порядка непосредственно на листе Excel. На рис. 3 показаны графики зависимости расстояния, пройденного в глицерине стальным шариком радиусом 1,6 мм, от времени. Один из графиков, обозначим его как $y_t(t)$, построен по данным модельного эксперимента, другой (точечный) – по данным натурного эксперимента, обозначим его как $y_o(t)$. Через точечный график методом наименьших квадратов проведем наилучшую прямую, построена также полоса погрешностей данного графика.

Радиус, масса шарика и плотность глицерина измеряются в натурном эксперименте с точностью до 3–4 значащих цифр. Измеренные значения этих величин используются в качестве параметров модели. Что касается искомой величины – вязкости глицерина, то она определяется следующим образом. При варьировании в модели значений величины η график зависимости $y_t(t)$ смещается. Подбором можно найти такое значение вязкости η_1 , при котором этот график наилучшим образом совмещается с графиком $y_o(t)$, построенным по данным натурного эксперимента. Тем самым определяется величина вязкости глицерина (в данном примере 0,22 Па·с).

Для того чтобы оценить влияние турбулентной составляющей силы сопротивления на ход графика $y_o(t)$, установим в модели значение $k_2 = 0$. Тогда графики $y_o(t)$ и $y_t(t)$ «разойдутся». Именно этот случай показан на рис. 3. Изменим величину η до такого значения η_2 , при котором графики вновь совместятся. Изменение вязкости $\Delta\eta = \eta_2 - \eta_1$ обусловлено отсутствием второго слагаемого в выражении (2), которое дает вклад «турбулентной составляющей» в измеренную величину вязкости глицерина. По физическому смыслу $\Delta\eta$ есть *методическая* погрешность измерения вязкости. В рассматриваемом примере $\Delta\eta$ составляет примерно 0,01 Па·с.

В заключение отметим следующие педагогические следствия совместного использования в лабораторном практикуме натурного и вычислительного экспериментов, которые раскрывают

его высокий образовательный и развивающий потенциал.

1. Преодоление «отрыва» теоретических знаний от реальной действительности и практики. В НВЭ с необходимостью актуализируются и объединяются как теоретические, так и эмпирические знания.

2. «Методологизация» обучения, более полная реализация «концепции исследовательского обучения». Приведенные примеры свидетельствуют о том, что традиционно используемые лабораторные работы, выполняемые в форме НВЭ, приобретают характер исследовательских.

3. Развитие у обучаемых рефлексии благодаря тому, что одно и то же явление изучается с разных сторон, в разных аспектах.

4. Развитие у обучаемых собственно экспериментальных умений. В частности, отметим умение оценивать погрешности измерений, без чего невозможно сделать заключение о применимости теоретической модели к описанию изучаемого явления в условиях данной экспериментальной ситуации.

5. Развитие у обучаемых умений по применению компьютера для реализации математических методов обработки данных. Ряд таких методов ввиду их сложности и трудоемкости без применения компьютера был бы практически нереализуем в условиях учебного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.В. Виртуальные проекты студентов в физическом лабораторном практикуме профильного лица / А.В. Баранов, Л.А. Боряняк, О.В. Заковряшина // Открытое и дистанционное образование. – 2014. – № 2 (54). – С. 40–44.
2. Охлопков Н.М. Вычислительный метод познания – диалектический синтез экспериментального и теоретического методов познания // Вестник ЯГУ. – 2010. – Т. 7, № 1. – С. 138–142.

M.I. Starovikov, I.V. Starovikova
Altai state academy of education named after
V.M. Shukshin, Biysk, Russia

NATURAL AND COMPUTING EXPERIMENT
IN LABORATORY WORKSHOP ON PHYSICS

Keywords: training experiment, natural experiment, computing experiment, laboratory workshop on physics.

In modern science a natural and computing experiment (NCE) is one of the most typical, productive and promising cognitive methods.

It substantiates reasonability of widespread introduction of NCE in educational process of secondary schools and professional training institutions.

The paper examines the structure of NCE that is necessary for its adequate representation in the contents of education. Basic structural elements of NCE are an experimentalist, appliances for performance of a natural and computing experiment, a subject of inquiry (sample), empirical and theoretical models of the subject of inquiry. The block diagram of NCE makes it possible to determine the sequence of natural and computing experiment performance in the laboratory works on physics.

The paper describes the research carried out in the work with the empirical and theoretical models. In inquiring the empirical model it is necessary to calculate indirectly observable quantity, to evaluate their errors by variation of the results of direct measurements, to draw graphs with use of different functional scales and indication of an error band, to determine the form of approximating functions and values of their parameters with application of regression analysis, and to evaluate the statistical uncertainty of approximating functions coefficients. The theoretical model is used for predicting the values of unknown quantities and the analysis of the character of functional connections between them.

The use of the theoretical model makes it possible to solve the following pedagogical tasks: 1) trainees' acquaintance with the theory of the experiment subject; 2) detection of characteristic properties of studied phenomenon and planning natural experiment in such a way as not to remain

unnoticed these special features; 3) the teacher's control of the trainees' readiness to carry out a natural experiment.

The paper examines the procedures of organization and conducting the workshop providing for both frontal work and sequential work performance. In the unified model of NCE activity fulfillment we separate five stages: 1) planning the research, 2) construction and investigation of the theoretical model; 3) obtaining primary data in a natural experiment, 4) construction and investigation of an empirical model; 5) processing and interpretation of the data obtained with using theoretical and empirical models. Besides, the theoretical model (stage 2) can be built after the natural experiment performance.

There are two examples of performance of laboratory works on physics in form of NCE.

The paper presents the formulated pedagogical consequences of NCE use in educational process that reveals its high educational and developmental potential: 1) smoothing a gap between theoretical knowledge and genuine reality and practice; 2) more complete realization of "research training concept"; 3) reflection development; 4) skills development of mathematical methods application for processing of measurement results.

REFERENCES

1. *Baranov A.V.* Virtual'nye proekty studentov v fizicheskom laboratornom praktikume pro-fil'nogo liceja / A.V. Baranov, L.A. Borynjak, O.V. Zakovrjashina // *Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie*. – 2014. – № 2 (54). – S. 40–44.
2. *Ohlopkov N.M.* Vychislitel'nyj metod poznaniya – dialekticheskij sintez jeksperimental'nogo i teoreticheskogo metodov poznaniya // *Vestnik JaGU*. – 2010. – T. 7, № 1. – S. 138–142.