Об использовании среды «LabView» в учебном физическом практикуме

Обсуждается возможности интеграции системы автоматизации измерений с реальными экспериментальными установками в рамках учебного практикума. На примере конкретной лабораторной установки выявляются достоинства и недостатки применения компьютерных технологий. Предлагается осмысление границ внедрения виртуализации физического эксперимента, за которыми начинает страдать качество подготовки физика, как исследователя.

Ключевые слова: LabView, физический практикум, автоматизация измерений, генератор, блок-схема.

ON THE USING OF THE «LABVIEW» IN EDUCATIONAL PHYSICAL WORKSHOP

The possibility of integrating the automation of measurements with real experimental in the training workshop is discussed. For an example of the laboratory workshop identifies the advantages and disadvantages of computer technology. It is proposed interpretation of the boundaries of virtualization of physical experiment, which begins to suffer for the quality of physics, as a researcher

Keywords: LabView, physical practical, measurement automation, generator, block-diagram.

Введение

Более двух десятилетий в педагогическом сообществе нашей страны обсуждается внедрение компьютерных технологий в процесс обучения физики и другим естественным наукам. В последнее время на рынке появился целый спектр систем автоматизированного сбора и обработки данных. У каждой из них есть свои достоинства и недостатки. Выбор преподавателем того или иного комплекса диктуется его предпочтениями и финансовыми возможностями учреждения. В начале нулевых годов на рынок России зашла корпорация «National Instruments» (NI) с программно-аппаратным комплексом «LabView». Данная система приобрела большую популярность, и начался процесс активного внедрения ее компонентов как в промышленность, так и в систему подготовки научных, инженерных и педагогических кадров. В настоящее время работает серьезная программа поддержки освоения продуктов NI как на федеральном, так и на региональных уровнях. Иногда темпы

развертывания и вовлечения людей в программы освоения цифровых лабораторий принимало характер кампании в худших проявлениях. Поэтому по-прежнему мы видим угрозу качеству подготовки профессионалов в инженерии и точных науках в сворачивании реального учебного эксперимента в пользу его моделирования или виртуализации.

Дискуссии о глубине проникновения автоматизации в реальный эксперимент ведутся давно (см. например десятки работ в начале 90-х годов в журнале «Физическое образование в вузах») и разрешить их в рамках одной статьи совершенно невозможно. Но мы предлагаем обратиться к такому критерию, как граница между отраслями, в которых внедряются компьютерные технологии, что позволит пусть и приблизительно (субъективно) сформулировать степень помощи, оказываемой экспериментатору компьютером. Мы предлагаем три условных уровня использования систем автоматизированного сбора данных:

– В промышленности (инженерия). Здесь потребитель как пра-

вило использует готовый продукт, тонко настроенный на конкретное оборудование. Важным достоинством здесь будет являться полная автоматизация всего цикла работы оборудования с элементами «самообслуживания» и «самонастройки».

– В научных исследованиях. Очевидно, что в этой области у человека должна быть полная свобода во вмешательстве в работу экспериментальной установки. Помощь цифровой техники сводится к повышению качества, автоматизации и обработки измерений.

– В процессе подготовки кадров для первых двух уровней (профессиональное обучение).

Остановимся на последнем уровне подробнее. Будущий физик-исследователь и просто учитель физики несомненно должны обладать всеми навыками планирования, постановки эксперимента и обработки его результатов. Мы считаем, что на уровне прививания этих навыков студенту вмешательство систем автоматизированного контроля эксперимента должно быть минимальным. В противном случае мы имеем опасность воспи-

Виталий Александрович Орлов,
к.ф.-м.н., доцент
Тел.: (391) 2237-09-28
Эл. почта: orlhome@rambler.ru
Красноярский государственный
педагогический университет
им. В.П. Астафьева
www.kspu.ru

Vitaly A. Orlov,
Candidate of Physical and Mathematical
Sciences, associate professor
Тел.: (391) 2237-09-28
E-mail: orlhome@rambler.ru
Krasnoyarsk State Pedagogical
University named after V. P. Astaf'ev
www.kspu.ru

Ирина Николаевна Орлова,
к.ф.-м.н., доцент
Тел.: (391) 2237-09-28
Эл. почта: bondhome@mail.ru
Красноярский государственный
педагогический университет
им. В.П. Астафьева
www.kspu.ru

Irina N. Orlova,
Candidate of Physical and Mathematical
Sciences, associate professor
Тел.: (495) 123-5467
E-mail: viktor.sidorov@bk.ru
Krasnoyarsk State Pedagogical
University named after V. P. Astaf'ev
www.kspu.ru

тания потребителя «формальных инструкций» – студента, выполняющего пошаговые рекомендации и слабо понимающего суть исследуемого явления. Ведь за него до занятия все сделал преподаватель (учитель), а во время занятия – компьютер. Поэтому очень важно, чтобы обучающийся имел возможность ознакомиться с «классическими» инструментами, разобрался с тонкостями измерений и обработки результатов, а лишь затем оценил помощь компьютерных систем, но лишь как послесловие к работе проделанной своими руками.

Особое внимание следует обратить на получившее широкое распространение явления полной «виртуализации» физического эксперимента. В этом случае обучающемуся вообще не предлагается работа на реальной установке, а лишь компьютерная программа с дружелюбным (или не очень) интерфейсом, работа которой основана на теоретических представлениях создателя об исследуемом явлении. При этом исключается участие обучающегося в процессе настройки установки, наблюдения, у студента нет возможности проявить свой талант или смекалку. Выразим старое мнение, но мы считаем, что виртуальный эксперимент оправдан лишь тогда, когда нет абсолютно никакой возможности поставить эксперимент реальный. То, что некоторые педагоги находят достоинства виртуального эксперимента по сравнению с реальным вызывает, мягко говоря, недоумение (см. например [1] и библиографию). То, что называют достоинствами виртуализации в процессе обучения, являются в действительности ее недостатками (простота, наглядность и пр.). Студент, изучающий физику, должен столкнуться с реальным миром учебного и научного эксперимента. Именно поэтому дистанционное обучение точным наукам обречено на неуспех. Из дистанционных технологий при изучении например физики можно использовать лишь некоторые их элементы. Исключением, которое следует активно обсуждать, является работа с людьми с ограниченными возможностями. В этом случае компьютер может

обеспечить например мультимедийную поддержку обучающемуся при работе на экспериментальной установке.

В настоящей статье мы предлагаем пример лабораторной работы с компромиссным использованием цифровых технологий. Широкие возможности для поиска компромисса предоставляют технологии NI. Продукты NI выгодно отличаются от других систем, представленных на рынке и поставляемых «под ключ» или как «черные ящики», т.е. полностью собранные, закрытые в корпуса (часто даже не прозрачные) установки. Комплекс «LabView» (LV) является очень гибким продуктом, позволяющим преподавателю самостоятельно выбрать степень «вмешательства» компьютерного мира в мир реального эксперимента. Для того чтобы интегрировать систему автоматизации измерений в компьютере имеются несколько интерфейсов: COM, USB, входы-выходы звуковых плат и систем захвата видео и пр., которые позволяют во многих случаях обойтись без приобретения систем сбора данных, таких как DAC. Ниже мы предлагаем вариант исполнения лабораторной работы по измерения показателя адиабаты воздуха при нормальных условиях. В нашем варианте реальный генератор звуковых частот и осциллограф заменены на виртуальные аналоги, реализуемые с помощью трактов звуковой платы персонального компьютера без использования дорогостоящих аналого-цифровых преобразователей.

1. Генератор и осциллограф на звуковой плате

Система LV содержит встроенные инструменты для программирования звуковой платы компьютера. Примеры использования этих инструментов хорошо документированы [2–4], и весьма активно и успешно используется в экспериментальных модулях учебных курсов (см., например, материалы разных конференций [5–7]). Для нашей экспериментальной установки необходима программа, совмещающая в себе генератор

Рис. 1. Блок-схема генератора-осциллографа для резонирующей трубы

звукового сигнала и осциллограф-вольтметр. Реальная экспериментальная установка хорошо известна и предназначена для измерения длины волны звука в газе методом стоячих волн, которая затем может быть использована в практикуме по механике (акустике) для измерения скорости звука в различных газах и при разных условиях, или, как в нашем случае, для измерения показателя адиабаты газа. Подробности представим ниже.

Предлагаемая нами блок-схема программного генератора-осциллографа показана на рис. 1, а интерфейс представлен ниже в описании лабораторной работы. Компиляция производилась в системе «LabView 2012». Исполняемый файл запускается и стабильно работает на компьютерах под управлением «Windows XP» (32/64) и «Windows 7» (32/64).

Ниже представляем описание лабораторной работы, предлагаемой студентам в экспериментальном модуле курса «Молекулярная физика и термодинамика» в несколько сокращенном виде. Полный вариант лабораторного практикума представлен в [8].

2. Определение C_p / C_v по скорости звука в газе (методом стоячих волн)

Цели: познакомиться с методом стоячих волн и определить показате-

ль адиабаты для воздуха по скорости звука в нем.

Оборудование: установка с телефонными капсулями, генератор ЗЧ, осциллограф.

Теоретические сведения

В газах могут распространяться только продольные возмущения. Выражение для скорости распространения продольных возмущений в газе можно получить, видоизменив подходящим образом выражение для скорости продольных возмущений в упругом стержне.

Рассмотрим тело из упругого вещества в форме цилиндра. Пусть на свободный торец цилиндра в некоторый начальный момент времени стала действовать постоянная сила давления. В возмущенной области все вещество в любой момент времени t движется с постоянной скоростью v . Если m – масса деформированной части стержня в любой момент времени t , то его импульс в тот же момент времени будет mv . Приращение $d(mv)$ импульса стержня за время dt равно импульсу силы Fdt за это же время. Это дает:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}. \quad (1)$$

За время t возмущение проходит путь $l = ct$ (c – скорость перемещения границы между возмущенной и невозмущенной частями). Поэтому масса возмущенной области стерж-

ня будет $m = \rho Sct$ (S – площадь поперечного сечения цилиндра, ρ – его плотность).

Подставив в формулу (1) $m = \rho Sct$ и $F = PS$ (где P – давление в возмущенной области) получим:

$$P = \rho cv. \quad (2)$$

Давление P связано с относительным сжатием ε соотношением $P = -E\varepsilon$. Здесь $\varepsilon = \Delta l / l_0$, E – модуль Юнга. Заметим, что к моменту времени t правый конец сжатой области стержня еще не успел переместиться, тогда как его левый свободный конец двигался и в течение времени t переместился на расстояние vt . В результате длина возмущенной области по сравнению со своей исходной длиной уменьшилась на $\Delta l = vt$.

Поэтому:

$$P = E \frac{v}{c}. \quad (3)$$

Исключая давление из формул (2) и (3), получим:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (4)$$

Видоизменим это выражение, чтобы получить скорость распространения возмущения в газе. Для этого нужно решить, что в этом случае играет роль модуля Юнга.

Газ в трубе можно рассматривать как цилиндр, вдоль которого распространяются продольные возмущения. При отсутствии давления каждый газ расширялся бы неограниченно. Поэтому необходимо предполагать, что в невозмущенном состоянии давление внутри газа отлично от нуля. Обозначим его P_0 . В газах роль модуля Юнга играет величина:

$$E = -V \frac{dP}{dV} = \rho \frac{dP}{d\rho}. \quad (5)$$

Разность температур между сгущениями и разрежениями воздуха в звуковой волне не успевает выравняться, так что распространение звука можно считать адиабатическим процессом. Адиабатический процесс для идеального газа описывается уравнением:

$$\gamma P dV + V dP = 0 \quad \text{или} \quad \gamma P d\rho + \rho dP = 0. \quad (6)$$

Отсюда:

$$\frac{dP}{d\rho} = -\gamma \frac{P}{\rho}. \quad (7)$$

Поэтому для скорости звука в газе получим формулу Лапласа:

$$c_L = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}. \quad (8)$$

Эта формула дает для скорости звука величину в γ раз большую, чем формула Ньютона. Из (8) следует идея удобного экспериментального метода измерения теплоемкостей. Если экспериментально измерить скорость звука c в исследуемом газе, то величина γ может быть найдена по формуле:

$$\gamma = \left(\frac{c}{c_N} \right)^2. \quad (9)$$

где $c_N = \sqrt{RT/\mu}$.

Описание установки

Из вышеизложенного следует, что для определения показателя адиабаты γ достаточно измерить температуру газа и скорость распространения звука (молярная масса предполагается известной).

Звуковая волна, распространяющаяся вдоль трубы, испытывает многократные отражения от торцов. Звуковые колебания в трубе являются наложением всех отраженных волн и, вообще говоря, очень сложны. Но в состоянии резонанса вблизи открытого торца наблюдается пучность, а вблизи закрытого – узел. Таким образом, для условия резонанса можно записать:

$$L = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}. \quad (10)$$

Здесь λ – длина звуковой волны, n – целое число, L – длина трубы. Если это условие выполнено, то волна, отраженная от торца трубы, вернувшись к ее началу и вновь отраженная, совпадает по фазе с падающей.

Совпадающие по фазе волны усиливают друг друга. Амплитуда звуковых колебаний при этом резко возрастает – наступает акустический резонанс. При звуковых

Рис. 2. Схема установки

Рис. 3. Фото «классической» установки для измерения скорости звуковых волн

Рис. 4. Установка, подключенная к компьютеру

Рис. 5. Интерфейс программного генератора-осциллографа

колебаниях, соответствующих резонансу, слои газа, прилегающие к торцам трубы, не испытывают смещения (узлы). Узлы повторяются по всей длине трубки через $\lambda / 2$. Между узлами находятся максимумы смещения (пучности).

Экспериментальная установка состоит из генератора звуковой частоты, осциллографа, трубы со встроенным микрофоном (М) и телефоном (Т) (рис. 2, 3).

В другом варианте труба-резонатор может быть подключена к компьютеру с установленной на нем специализированной программой. При этом телефон и микрофон подключаются в соответствующие разъемы звуковой платы компьютера. В этом случае в качестве аналогово-цифрового преобразователя выступает звуковая плата компьютера (рис. 4).

Звуковые колебания возбуждаются динамиком и улавливаются микрофоном. Подбор условий, при которых возникает резонанс, производится изменением частоты звуковых колебаний. Для частоты последовательных резонансов с учетом (10) имеем:

$$v_n = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2L} \left(n + \frac{1}{2} \right). \quad (11)$$

Мы видим, что v_n зависит от n линейно. Тогда, $c / 2L$ определяется как угловой коэффициент графика зависимости частоты от номера резонанса.

Экспериментальные задания

В случае использования звукового тракта компьютера в качестве генератора-осциллографа необходимо провести предварительную настройку интерфейса программы.

Запустите программу Resonance.exe (рис. 5). Нажмите

кнопку «Стоп» и дождитесь остановки программы. Установите значения дискретизации 630. Запустите программу кнопкой пуска. Если звучание генератора не устойчиво, отрегулируйте частоту дискретизации.

– Подберите напряжение на выходе генератора так, чтобы Вы смогли уверенно фиксировать амплитуду сигнала. Убедитесь в том, что колебания имеют неискаженную синусоидальную форму. Если форма колебаний искажена, отрегулируйте амплитуду сигнала.

– Плавно изменяя частоту генератора, получите ряд последовательных резонансных значений частоты, отмечая момент резонанса по максимальной амплитуды колебаний на экране осциллографа или мониторе компьютера.

– Полученные результаты изобразите на графике $n(v)$. Через полученные точки проведите наилучшую прямую (методом наименьших квадратов). По наклону прямой вычислите значение скорости звука.

– Используя выражение (9), вычислите значение показателя адиабаты воздуха. Оцените ошибку измерений.

Контрольные вопросы

1. При землетрясениях, которые играют роль возмущений, в толще земли распространяются как поперечные волны, называемые S -волнами, так и продольные (P -волны). Обнаружено, что в диаметральном направлении сквозь землю проходят только продольные волны, поперечные же никогда не регистрируются. Какой вывод о внутреннем строении земли можно сделать, основываясь на этом факте?

2. Молекулы газа, например воздуха, хаотически движутся с очень

высокими скоростями. Среднее расстояние между молекулами во много раз превосходит их диаметр. При прохождении волны через газ одна молекула может сообщить импульс другой молекуле, только если это расстояние между молекулами пройдено и две молекулы сталкиваются. Не следует ли из этого, что скорость звука в газе ограничена средней скоростью молекул?

3. Почему теплоемкость C_p больше теплоемкости C_v ?

4. Почему при адиабатическом сжатии температура газа повышается.

5. Какой процесс называется политропным? Как он связан с перечисленными выше процессами?

6. Как оцениваются погрешности экспериментальных измерений физических величин?

Заключение

В настоящей статье мы предложили пример экспериментальной установки, где на наш взгляд использование компьютерных технологий не умаляет преимуществ знакомства студентов с реальным физическим экспериментом. Таких примеров разумной роли цифровых систем можно привести множество. Важно отметить, что владение преподавателем хотя бы основ программирования позволяет ему самостоятельно регулировать степень вовлечения автоматизированных систем в структуру экспериментального курса, программировать контролеры, датчики и на основе этого создавать собственные экспериментальные работы. Это позволит отказаться от малоэффективных «черных ящиков» при обучении точным наукам.

Литература

1. Смирнов В.А., Шуваева О.В. Использование современных наукоемких технологий в курсе «физика» для студентов медицинских специальностей вузов, Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – т. 11. – С. 39–40.
2. Линдваль В.Р. Лабораторный практикум по специальным разделам физики в среде виртуальных приборов LabView, ISBN 5-7579-0758-4, изд. Казанского гос. техн. ун-в. 2004. – 49 с.

References

1. Smirnov V.A., Shuvaeva O.V. The use of modern high technology to date «physics» for medical students of high schools, International Journal of Applied and Basic Research – 2013. – V.11. – PP. 39–40.
2. Lindval V.R. Laboratory workshop on the special branches of physics in a virtual instrument LabView, ISBN 5-7579-0758-4, Kazan State. techn. Univ. 2004. – 49 p.

3. Бутырин П.А., Васьковская Т.А., Каратаева В.В., Материкин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabView, – М.: ДМК Пресс, 2005. – 264 с.
4. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В., Пануловский В.Ф., LabView: практикум по основам измерительных технологий, – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.
5. <http://asf.ural.ru/VNKSF/Tezis/> (дата обращения 8.03.2015)
6. <http://ito.edu.ru/2006/Moscow/VIII/VIII-0-6319.html> (дата обращения 8.03.2015)
7. <http://www.phys.nsu.ru/main/index.php/component/content/article/40-photo/332-2014-09-25-photo-sfp> (дата обращения 8.03.2015)
8. Орлов В.А., Смирнов С.И., Орлова И.Н., Лабораторный практикум по молекулярной физике, Учебное пособие, Красн. гос. пед. универ. им. В.П. Астафьева, изд. 2-е, Красноярск 2013. – 102 с.
3. Butirin P.A., Vas'kovskaya T.A., Karataeva V.V., Materikin S.V. Automation of physical research and experiment computer measurement and virtual instruments based on LabView, – M.: DMK Press, 2005. – 264 p.
4. Batovrin V.K., Bessonov A.S., Moshkin V.V., Panulovsky V.F. LabView: workshop on the basics of measuring technology, – M.: DMK Press, 2005. – 208 p.
5. <http://asf.ural.ru/VNKSF/Tezis/> (date of treatment 03/08/2015)
6. <http://ito.edu.ru/2006/Moscow/VIII/VIII-0-6319.html> (date of treatment 03/08/2015)
7. <http://www.phys.nsu.ru/main/index.php/component/content/article/40-photo/332-2014-09-25-photo-sfp> (date of treatment 03/08/2015)
8. Orlov V.A., Smirnov S.I., Orlova I.N. Laboratory workshop on molecular physics, Textbook, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, ed. 2nd, Krasnoyarsk, 2013. – 102 p.