

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы создания виртуального лабораторного практикума по физике и его исполнение в реальном (приборном) виде при гибридном обучении на примере лабораторной работы «Взаимодействие электрического поля с веществом». Гибридная форма обучения дополняет традиционную.

**Ключевые слова:** виртуальный лабораторный физический практикум; традиционный эксперимент

Современные вызовы диктуют новые требования к формам преподавания физики в вузе. В настоящее время широкое распространение получила гибридная форма обучения, которая дополняет дистанционную и традиционные формы обучения и может ускорить подготовку инженерных кадров по программам «Специалитет».

Проведения лабораторных работ в гибридном формате имеет существенные отличия: для офлайн-студентов занятия проходят в специально оснащенных учебных лабораториях, а для онлайн-студентов – в электронном курсе с использованием цифрового контента.

Нашей целью явились разработка и создание лабораторной работы по разделу электростатики «Взаимодействие электрического поля с веществом» в виртуальном и реальном (приборном) исполнениях для обеспечения непрерывности дистанционного и очного обучения студентов младших курсов.

Конкретную реализацию работы было предложено осуществить по теме «Исследование нелинейных свойств сегнетоэлектриков». Для проведения моделирования в качестве материала сегнетоэлектрика был выбран керамический титанат бария.

Одной из отличительных особенностей традиционного эксперимента является изучение некоторых физических объектов и явлений, наблюдение за которыми длительно по времени и обладает малой наглядностью. В то время как виртуальный эксперимент, имеющий хорошую динамическую графику, является, например, наглядным средством для получения представлений о микропроцессах. В частности, при изучении взаимодействия электрического поля с веществом показать изменения, происходящие с кристаллической решеткой, наглядно можно только при помощи виртуального лабораторного стенда.

В виртуальной лабораторной работе наглядно демонстрируется, как при увеличении внешнего напряжения в элементарной ячейке кристалла происходит смещение ионов и возникновение дипольного момента, а также изменение направления вектора поляризации при повороте доменов. Демонстрация смещения ионов и поворота доменов синхронизированы друг с другом – это наглядная имитация реальных физических процессов в кристаллах.

Получаемая в ходе выполнения работы вольт-фарадная характеристика (ВФХ) является аппроксимацией экспериментальных данных. В качестве аппроксимирующей функции в задаче аналитического представления ВФХ использовались степенные полиномы.

Важным является то, что виртуальная работа может быть «растиражирована» для индивидуального выполнения каждым студентом группы путем задания разных констант и разных аппроксимирующих нелинейных характеристик для множества составов сегнетоэлектрических керамик на основе твёрдых растворов титанатов бария – стронция ( $\text{BST} - \text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ ) при изменении  $x$  от 0 (чистый титанат стронция  $\text{SrTiO}_3$ ) до 1 (чистый титанат бария  $\text{BaTiO}_3$ ). Для адресных индивидуальных заданий студентам можно также задавать разные фазовые состояния керамики по температуре (парафаза или сегнетофаза), изменять топологию (объёмные и плёночные структуры) исследуемых конденсаторов и их различную геометрию. Таким образом, даже в виртуальном варианте лабораторная работа позволит познакомить студентов с возможностями современной технологии по созданию и свойствам нелинейных сегнетоэлектрических структур с нужными свойствами путем направленного эксперимента.

Разработка виртуальной лабораторной работы по исследованию нелинейных диэлектрических свойств сегнетоэлектриков велась на языке программирования Processing. Processing – открытый язык программирования, основанный на Java. Он является кроссплатформенным и работает во всех популярных операционных системах: Windows, Linux и Mac OS X. Processing содержит множество функций, которые упрощают работу с данными, выводом на экран, управлением периферией, анимацией, 3D объектами, вводом, файлами, 3D сценами. В подключаемых библиотеках реализованы функции работы с сетью, портами ввода-вывода, видео, звуком, различными протоколами и огромное количество прочих возможностей. С виртуальным вариантом лабораторной работы можно познакомиться на сайте кафедры физики СПбГЭТУ «ЛЭТИ» <https://physicsleti.ru>.

При разработке реального стенда лабораторной работы применены существующие современные методы [1, 2] измерения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков. Для проведения измерений изготовлены образцы плоскопараллельных конденсаторных структур на основе керамики титаната бария BaTiO<sub>3</sub>. При выполнении работы студенты непосредственно устанавливают образцы – керамические диски с металлизированными поверхностями – в измерительную ячейку. После измерения геометрических параметров образцов и измерений зависимости ёмкости структур от внешнего напряжения смещения они строят ВФХ, вычисляют диэлектрическую проницаемость и управляемость нелинейных конденсаторных структур.

Активная теоретизация преподавания физики в школе и вузе, отсутствие живых демонстраций и опытов, переход к компьютерным анимациям и виртуальным лабораторным работам приводит к тому, что в результате студенты часто не понимают, о чем идет речь на лекции. Физика должна начинаться с эксперимента (знакомство с явлением) и заканчиваться экспериментом (верификация модели, установление границ теории). Виртуальная лабораторная работа по исследованию нелинейных диэлектрических свойств сегнетоэлектриков будет дополнена и реальной установкой, что может быть достаточно легко реализовано на базе научной лаборатории кафедры физики. Лабораторный практикум по физике является фундаментом инженерного образования, на котором профильные кафедры могут возвести любую «надстройку» в соответствии с направлением будущей профессиональной деятельности выпускников. Один из путей повышения качества инженерного образования состоит в сочетании компьютерных технологий и модернизации экспериментальной базы технических вузов.

Таким образом один из путей повышения качества инженерного образования и ускоренной подготовки инженерных кадров состоит в сочетании компьютерных технологий и модернизации лабораторной базы университета.

Таким образом, предложенная лабораторная работа может быть использована как в дистанционном, так и в очном форматах обучения студентов при изучении разделов курса физики «Электрическое поле в диэлектриках» (для студентов всех групп) и «Физика твёрдого тела» (для усиленных групп студентов).

Преимуществом данной лабораторной работы является то, что, изменяя параметры реально существующих керамических материалов из системы твёрдых растворов BST, а также, задавая различное фазовое состояние (сегнетоэлектрик/параэлектрик) и разную топологию конденсаторных структур, можно обеспечить индивидуальную – исключительно самостоятельную работу каждого студента группы при использовании одного и того же макета виртуальной и экспериментальной установок.

Перспективы развития работы:

– Для обычных студенческих групп в работу можно добавить измерения времени заряда конденсатора и виртуальную сборку электрической схемы установки.

– Для усиленных групп студентов работу можно развить в плане измерений температурных зависимостей диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, измерения вольтамперных характеристик.

– В лабораторный курс усиленных групп можно включить модернизацию макетов измерительных установок для измерения планарных нелинейных конденсаторов.

**Список литературы:**

1. Г. А. Смоленский, В. А. Боков, В. А. Исупов, Н. Н. Крайник, Р. Е. Пасынков, Н. С. Шур. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Наука. Л., 1971. 475 с.
2. О. Г. Вендик. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. Сов. радио. М., 1979. 272 с.

I. L. Mylnikov, A. I. Dedyk, Yu. V. Pvlova

Full-time – distance laboratory physical workshop in hybrid education

*Saint Petersburg Electrotechnical University, Russia*

***Abstract.** The issues of creating a virtual physics laboratory workshop and its implementation in a real (instrumental) form in hybrid education are considered on the example of the laboratory work "Interaction of an electric field with matter". The hybrid form of education complements the traditional one.*

**Keywords:** virtual laboratory physics workshop; a traditional experiment