**Гренадерова А. А., Урусов А.М, Владимирская А.А.**

**Виртуальная модель лабораторной установки для исследования магнитного поля кругового тока «Виток с током»**

***Научный руководитель Чирцов А.С.***

**Введение**. Информатизация образования — это совершенствование обучения с помощью современных информационных технологий, предполагающее применение специальных способов связи обучающихся и преподавателей на расстоянии. В интернете существует множество обучающих видео, лекций, учебников и тестов. Однако очень важная часть обучения студентов технических специальностей - это применение полученных теоретических знаний в практических условиях — лабораторные работы. Но если обстоятельства не позволяют снять замеры на физических лабораторных установках, студенту будет сложно усвоить, как работает тот или иной закон физики.

**Основная цель проекта** — создание виртуальной модели лабораторной установки «Виток с током», позволяющей производить расчеты ЭДС индукции для исследования магнитного поля кругового тока.

**Описание модели.** Виртуальная модель установки состоит из *кольца* - витка с током (кольцевая катушка с намотанным внутри медным проводом и подключенная к генератору), *датчика* (зонда) и *стола* с координатной сеткой, по которому можно двигать датчик.

**Описание работы.** Виртуальная лабораторная установка предполагает 2 режима работы: “Преподаватель” и “Студент”.

В режиме “Преподаватель” появляется возможность изменения параметров установки - силы тока в витке (I) и его радиус (R). После того как введены параметры, они сохраняются в базу данных Firebase Database. Для того, чтобы попасть в этот режим, необходимо пройти авторизацию, реализованную через систему Firebase Authentication.

В режиме “Студент” авторизации и возможности изменять параметры нет. При выполнении работы выгружаются данные, заданные преподавателем.

Виртуальная модель позволяет в разных точках стола с помощью поворота датчика получать значения индукции магнитного поля, созданного током, протекающим в кольце.

Для снятие замеров с помощью виртуальной установки студент меняет положение датчика, двигая его курсором и поворачивая с помощью скролла мыши (угол поворота датчика влияет на измерения - по методическим указаниям следует записывать максимальное значение в точке, а чтобы его найти, необходимо поворачивать датчик, следя за получаемыми значениями). Чтобы расположить датчик точнее, можно воспользоваться стрелками на клавиатуре, которые меняют положение камеры в трёх ракурсах.

В окне справа от установки отображаются текущие значения: частоты переменного тока в кольце (f); силы тока в кольце (I); напряжение (U); ЭДС индукции (индуцированное напряжение) (E). Их можно зафиксировать с помощью кнопки “Записать” или клавишей “Enter”, тогда текущие значения (положение датчика, E\_з) появятся в окне слева. Когда пользователь закончит измерения, он может сохранить свои измерения в текстовый файл со всеми сохраненными значениями.

3D-модель виртуальной лабораторной установки создавалась с помощью инструментов “Three.js” для языка JavaScript. Модели витка, зонда и стола были спроектированы в “Компас 3D” и переведены в формат STL. Подключение stl-моделей к Three.js реализовано через STLoader. Оформление сайта выполнено с использованием технологий HTML, CSS, JavaScript.

Значения, которые мы получаем в правом окне, рассчитываются по формулам. Для того чтобы найти рабочую формулу, были использованы закон Био-Савара-Лапласа, правило суперпозиции, явление электромагнитной индукции.  Ток, протекающий в витке создает магнитное поле, индукция которого вычисляется по формуле:

- в скалярном виде

- в векторном виде с интегралом

где:  *– магнитная проницаемость (const);* ***I*** *– сила тока в витке;* ***R*** *– вектор расстояния от точки начала отсчета до датчика;* ***r*** *– вектор расстояния от датчика до каждого* ***dl*** *датчика (****dl*** *– 1/360 витка);* ***f*** *- частота переменного тока;* ***S*** *- площадь охваченная током витка;* ***w*** *- число витков катушки.*

Процесс измерения значений индукции магнитного поля основан на использовании явления электромагнитной индукции : . Поскольку катушка, создающая исследуемое магнитное поле, питается переменным током частоты f, то , где S – эффективная площадь сечения катушки датчика, w – число витков катушки.

На основании этих формул, мы вывели конечную, используемую в расчетах в нашей программе:

Данная формула принимает на вход координаты, константы и введенные параметры, и считает ЭДС индукции, как и реальная установка.

**Принцип работы**. Помещая датчик в различные точки стола, и, измеряя индукцию магнитного поля в данной точке, установка поможет помочь выполнить задание на построение на бумаге картины исследуемого поля. Для этого нужно расположить в произвольной точке плоскости датчик, таким образом, чтобы ось датчика показала направление вектора магнитной индукции в данной точке. После этого следует переместить датчик в направлении вектора магнитной индукции на небольшое расстояние и снова сориентировать его по направлению вектора индукции магнитного поля в этой точке.

Линиями индукции магнитного поля являются линии, касательные к которым в любой их точке совпадают с направлением вектора индукции магнитного поля в этой точке, а густота линий пропорциональна значению величины магнитной индукции.

После выполнения нужного количества измерений, датчик должен вернуться в область вблизи исходной точки. Имея все полученные с помощью виртуальной установки замеры в точках и перенеся на бумагу полученные точки плавной кривой, можно получить замкнутую линию магнитной индукции.

**Заключение**. Разработанная виртуальная лабораторная установка “Виток с током” позволит студентам дистанционно снимать замеры для лабораторных работ, а также поможет изучить закон Био-Савара-Лапласа.

**Список литературы.**

1. Методические указания для лабораторных работ кафедры физики СПБГЭТУ ЛЭТИ.

2. Физический энциклопедический словарь, Москва, «Советская энциклопедия», 1983, стр. 731