

УДК 621.316.9

*Б.В. ДЗЮНДЗЮК*, д-р техн. наук, ХНУРЭ

*Л.В. ЛАРЧЕНКО*, канд. техн. наук.

*Л.И. МАРЧЕНКО*,

*Е.М. АНПИЛОГОВ*, канд. техн. наук.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЕКАНИЯ ТОКА С ЦЕЛЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ЗОН**

Розроблена математична модель розтікання струму в ґрунті для визначення небезпечних зон. Зручний інтерфейс для користувача, інтерактивне введення параметрів дозволяє процес індивідуального навчання зробити більш ефективним. Автоматично згенерований звіт являється доступним тільки для ведучого викладача та включає в себе: логін учня, результат тестування, звіт з лабораторної роботи, та може бути відправленим через Інтернет.

The developed electronic model unites theoretical and practical materials, laboratory practical work and system of verification. Comfortable interface for an user, interactive introduction of parameters allows to do the process of the individual teaching more effective. The report is to accessible only for the anchorman of teacher and includes at itself: login of student, result of testing, report from laboratory work, and can be sent over the Internet.

### **Введение**

В современном мире в учебном процессе дистанционное обучение становится все более востребованным. Методика изложения учебного материала имеет свои особенности и трудности по сравнению со стационарной формой обучения. Дополнительные трудности возникают при изложении учебного материала по электробезопасности. При дневной форме обучения для того, чтобы студентам на практике показать процессы растекания тока, используются реальные макеты, которые имеют свои недостатки: непригодность для дистанционного обучения, громоздкость, сложности с ремонтом.

Современные компьютерные технологии позволяют создать математические модели процессов электрического замыкания на землю. Компьютерная модель имеет ряд преимуществ:

- легкость распространения. Программа может свободно копироваться и распространяться через Интернет;
- средства компьютерной графики позволяют создать интерактивные графические элементы, демонстрирующие процесс растекания тока;
- кроме моделей, программа может включать теоретическую документацию и средства для проверки знаний пользователя.

Таким образом, на сегодняшний день актуальна задача создания программы моделирующей процессы электрического замыкания токоведущих проводников на землю, а также содержащей теоретическую документацию и средства проверки знаний студента.

### **Задача**

Перед авторами стояла задача в разработке программы, адекватно отражающей физические процессы растекания тока и, которая содержала бы:

- полный комплект теоретического материала, который позволяет пользователю самостоятельно освоить излагаемый материал, подготовиться к тестированию и прохождению лабораторного практикума;
- контроль знаний пользователя, осуществляемый в виде тестирования. В результате тестирования, пользователь получает оценку знаний по изучаемой области;
- защиту контроля знаний при использовании программы студентом дистанционной формы обучения;
- интерактивные графические модели для:
  - распределения потенциалов точек грунта вблизи места замыкания;
  - напряжения прикосновения;
  - напряжения шага.
- генерацию отчета, содержащего результаты тестирования и результаты исследования распределения потенциалов на поверхности грунта, напряжения прикосновения, напряжения шага, границы и размеры опасных зон.

### **Выбор технологий реализации**

Для разработки программы была выбрана технология .NET. Данная технология позволяет использовать самые современные средства для разработки программ, предоставляемые компанией Microsoft. Выбор формата Microsoft Office для создания заготовки отчета обусловлен широкой распространенностью данного пакета и удобством объектной модели, предоставляемой разработчикам.

### **Основная часть**

Разработанная программа построена по принципу прозрачного прохождения, не требующего высокого уровня компьютерной подготовки и позволяющего сосредоточиться непосредственно на усвоении учебного материала. Справочная система, состоит из нескольких разделов: 1) цель работы, содержит описание задачи лабораторного практикума; 2) описание интерфейса (рис. 1), описание всех пунктов меню программы, а также интерфейса для каждого этапа прохождения тестов и лабораторной работы; 3) теоретический материал (рис. 2), всю теоретическую информацию необходимую для изучения опасности замыкания токоведущих проводников на землю.

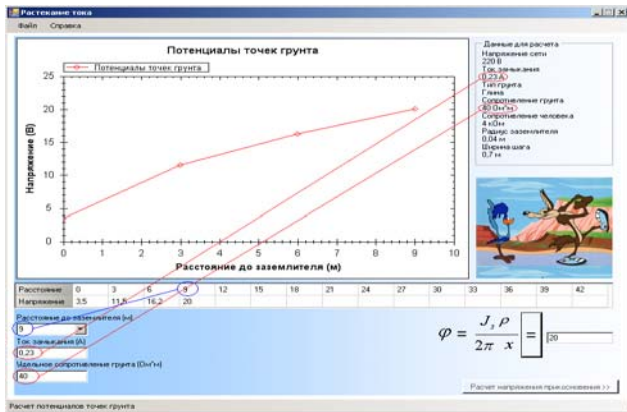


Рисунок 1 – Справочная система.  
Описание интерфейса

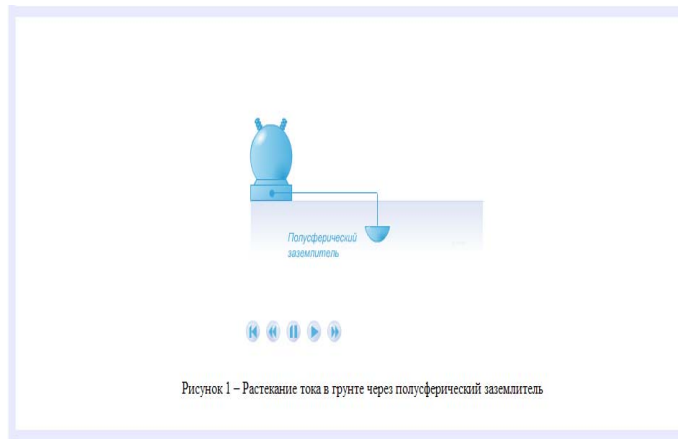


Рисунок 2 – Справочная система.  
Теоретический материал

Теоретический материал состоит из трех разделов: «Замыкание токоведущих проводников на землю», «Напряжение прикосновения», «Напряжение шага». Каждый из разделов включает теоретическое описание проблемы, формулы, таблицы, а также анимационные ролики, созданные при помощи технологии Flash, наглядно демонстрирующие процессы замыкания токоведущих проводников на землю, напряжение прикосновения и напряжение шага. Анимационный ролик, демонстрирующий растекание тока в грунте через полусферический заземлитель, изображен на рисунке 2.

### Ход лабораторной работы в программе

1. При запуске программы пользователь видит стартовую форму, на которой ему предлагается зарегистрироваться, посмотреть справку или выйти из программы.

2. Регистрация заключается в вводе информации о студентах, проходящих лабораторную работу (до 5 человек) и группе этих студентов.

3. Для закрепления изученного теоретического материала и проверки уровня его усвоения организовано тестирование (рис 3). Тестирование заключается в последовательном выборе одного из вариантов ответа на каждый вопрос из серии вопросов, предлагаемых программой. Для прохождения теста предлагается ответить на серию из 10 вопросов, случайным образом выбранных из 30 вопросов, хранимых в программе.

Индикатор в нижней части окна программы отображает состояние теста: текущий вопрос и правильность ответа на предыдущие вопросы.

Оценка за тест ставится в зависимости от процента правильных ответов:

- 90% и более – 5;
- от 75% (включительно) до 90% – 4;
- от 60% (включительно) до 75% – 3;
- менее 60% – 2, тест считается непройденным.

Если пользователь в результате тестирования набрал более 60% правильных ответов, то программа разрешает переход к выполнению лабораторной работы. Если пользователь набрал менее 60% правильных ответов, то программа не разрешает переход к выполнению лабораторной работы, но предоставляет возможность повторно изучить учебный материал и пройти тест.

4. Выбор варианта. После успешного прохождения тестов пользователю необходимо выбрать один из семи вариантов, содержащих данные, на основании которых ведутся расчеты при выполнении лабораторной работы. Такое количество вариантов было выбрано с точки зрения универсальности использования программы. В

этом случае предоставляется возможность использования при дневной форме обучения в компьютерном классе, каждый студент выполняет свой вариант предложенных задач. При самостоятельной работе или дистанционной форме обучения появляется возможность сравнения и анализа различных условий растекания тока.

Каждый вариант включает решение трех задач: 1) расчет потенциалов точек грунта (рис.4), 2) расчет напряжения прикосновения, 3) расчет напряжения шага.

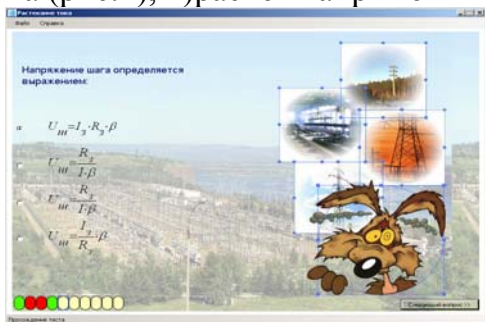


Рисунок 3 – Прохождение теста

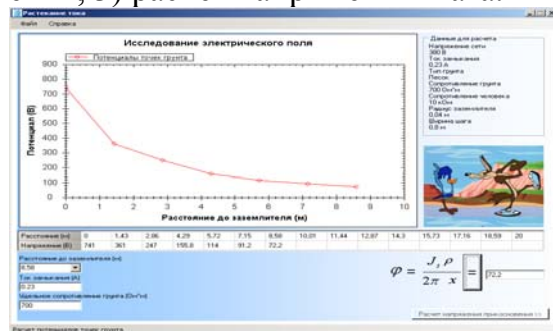


Рисунок 4 – Расчет потенциалов точек грунта

Для решения первой задачи пользователю необходимо произвести расчет потенциалов грунта в пятнадцати точках на разном расстоянии от заземлителя.

Для упрощения картины электрического поля и его анализа приняты допущения: заземлитель имеет форму полусферы, грунт однородный, изотропный и удельное электрическое сопротивление грунта во много раз больше удельного электрического сопротивления материала заземлителя.

При этих упрощениях ток в грунте распределяется равномерно. Линии тока направлены по радиусам от центра полусферы и перпендикулярны поверхности заземлителя.

Потенциал  $\varphi$  точки  $x$  на поверхности грунта определяется как

$$\varphi = \frac{I_з \cdot \rho}{2\pi \cdot x},$$

где  $I_з$  - ток замыкания, стекающий в землю;

$\rho$  - удельное электрическое сопротивление грунта.

Для расчета используются данные варианта, выбранного пользователем. Для каждой точки пользователю необходимо ввести расстояние до заземлителя, ток замыкания и удельное сопротивление грунта. Для контроля результатов расчета программа сравнивает полученные данные с контрольными значениями, рассчитанными после выбора варианта. Если значения совпадают, в таблице и на графике отображается значение потенциала текущей точки грунта.

Интерфейс программы предоставляет всплывающие подсказки при вводе значений, при наведении курсора на параметры формулы расчета (рис 5 и точки на графике (рис 6)).

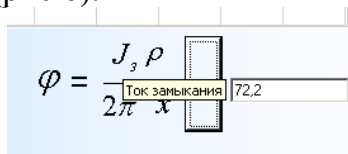


Рисунок 5– Всплывающая подсказка при наведении курсора на параметр формулы.

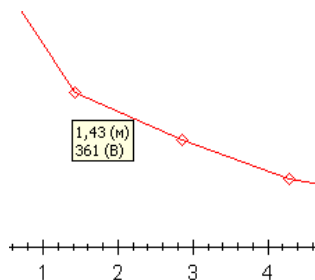


Рисунок 6– Всплывающая подсказка при наведении курсора на график

Расчет напряжения прикосновения является вторым этапом прохождения лабораторной работы (рис.7). Для человека, который касается заземленного корпуса, случайно оказавшегося под напряжением, напряжение прикосновения  $U_{пр}$  определяется как разность потенциалов руки  $\varphi_p$  и ноги  $\varphi_n$

$$U_{пр} = \varphi_p - \varphi_n = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_3} \cdot \frac{x - x_3}{x} = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_3} \cdot \alpha = U_3 \cdot \alpha,$$

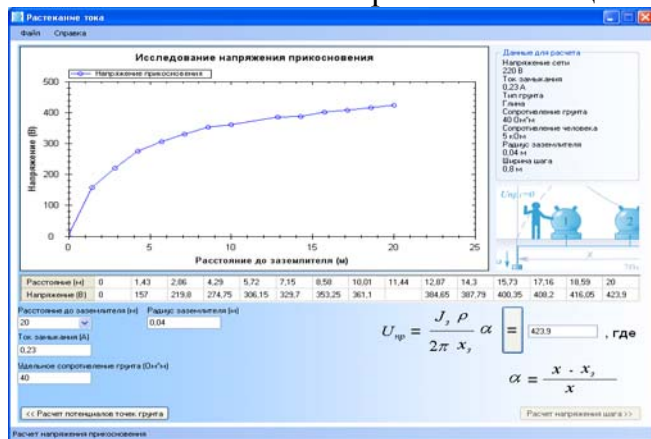
где  $\alpha = \frac{x - x_3}{x}$  - коэффициент напряжения прикосновения;

$U_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_3}$  - напряжение замыкания;

$x_3, x$  - соответственно радиус заземлителя и координата нахождения человека на грунте относительно заземлителя.

Вблизи заземлителя напряжение прикосновения не представляет собой опасность для человека. В случае удаления человека от заземлителя напряжение прикосновения возрастает и на определенном расстоянии от заземлителя достигает опасной для человека величины.

Отличий от этапа расчета потенциалов точек грунта, за исключением формул нет.



Третьей задачей является расчет напряжения шага и определения опасной зоны (рис. 8), который осуществляется на основе графика потенциалов точек грунта. К человеку, находящемуся в поле растекания тока, будет приложено напряжение шага  $U_{ш}$ , которое определяется как разность потенциалов точек грунта нахождения одной  $\varphi_{н1}$  и второй  $\varphi_{н2}$  ноги.

Рисунок 7– График напряжения прикосновения.

$$U_{ш} = \varphi_{н1} - \varphi_{н2} = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi \cdot x_3} \cdot \frac{a \cdot x_3}{x(x + a)} = U_3 \beta$$

Где:  $\beta = \frac{a \cdot x_3}{x(x + a)}$  - коэффициент напряжения шага;

$x$  - расстояние от человека до заземлителя;

$a$  - ширина шага человека.

Вблизи заземлителя напряжение шага значительно и представляет опасность для человека. В случае отдаления напряжение шага уменьшается и на определенном расстоянии от заземлителя (около 20м) напряжение шага уменьшается до нуля. Напряжение шага также будет равно нулю, если ноги человека находятся на эквипотенциальной линии или, когда ширина шага равна нулю.

Для определения напряжения шага, необходимо указать потенциалы ближней и дальней ноги по отношению к заземлителю. Потенциалы ближней и дальней ноги соответствуют значениям потенциалов точек грунта. Напряжение потенциала вычисляется как разность потенциалов ближней и дальней ноги. График потенциалов точек грунта присутствует изначально, график напряжения шага строится в процессе вычисления напряжения шага.

После прохождения этапов расчета потенциалов точек грунта, напряжения прикосновения, напряжения шага, программа генерирует заготовку отчета по лабораторной работе. Отчет содержит:

- титульный лист;
- результаты тестирования;
- цель лабораторной работы (заполняется студентом);
- графики и таблицы этапов расчета потенциалов точек грунта, напряжения прикосновения, напряжения шага. После каждого этапа заготовка отчета предоставляет место для комментариев (заполняются студентом);
- выводы по лабораторной работе (заполняются студентом).

Результаты тестирования отображаются в виде рисунка (рис 9).

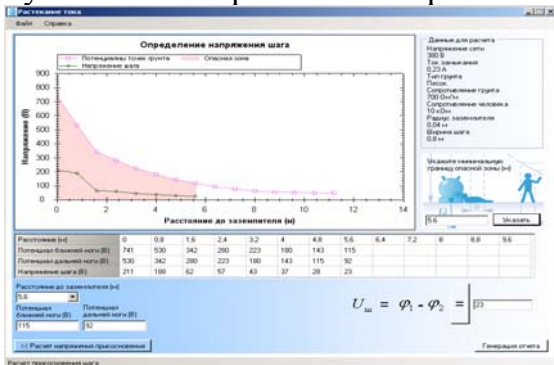


Рисунок 8 – График определения опасной зоны



Рисунок 9 – Результаты тестирования

Подлинность результатов тестирования защищена:

- градиентом фона;
- градиентом надписей с оценкой тестирования;
- градиентом надписи группы;
- градиентом надписи имен студентов;
- наложением имен студентов на результаты тестирования;
- ряд окружностей, наложенных на передний план.

### Заключение

Разработанная программа предоставляет:

- полный пакет теоретической документации, необходимой для изучения темы лабораторной работы, включая анимационные ролики.
- тестирование знаний пользователей программы;
- интерактивные модели распределения потенциалов точек грунта, напряжения прикосновения, напряжения шага.

Программа может быть применена при обучении студентов дневной формы обучения, защита результатов тестирования позволяет применять программу при обучении студентов заочной и дистанционной форм обучения, также программа может быть полезна любому, интересующемуся вопросами охраны труда и электробезопасности.

**Список литературы:** 1.В.Г.Иванов, Б.В.Дзюндзюк,Ю.М. Александров.Охрана труда в электроустановках. К.: АТ «ОКО»,1994. 228с. 2.Охрана труда/ под. ред Б.А. Князевского. М.: Высш. Шк.; 1982. 311с. 3. В.Ц. Жидецкий и др. Основы охраны труда.-Львов: «Афиша». 2000.350с.

Поступила в редколлегию 25.06.2009