

# Оценка сопротивления заземлителя подстанции в многослойном грунте\*

САДКОВ В.Д., ФОМИНА К.С.

Достоверность оценки сопротивления заземлителя подстанции высокого напряжения исключительно важна для ее безопасной работы. Инженерная методика решения подобных задач для многослойных грунтов при представлении заглубленного сеточного заземлителя эквивалентным по площади проводящим диском на поверхности земли предложена в [1]. Сущность методики заключается в замене сетчатой структуры с реальными токами сплошной поверхностью с реальной электропроводностью материала сетки (в [1] не учитывалось), на которой выполняются некоторые эквивалентные усредненные граничные условия для сглаженных токов (зависящие от структуры сетки). Так что на некотором расстоянии от сетки  $h \geq b/5$  ( $h$  – глубина от поверхности;  $b$  – размер ячейки сетки) сглаженное и реальное поля равны. И только в сравнительно узкой области  $0 \leq h \leq b/5$  (оценка для однородной среды) требуется поправка [2].

В [1] отмечается, что профессиональные программы (например Parsiz) расчета сопротивления заземлителя дороги и в широком доступе отсутствуют. В рамках принятой модели сеточного заземлителя поставленную задачу решает отечественный программный комплекс Elcut компании ООО «Тор» [3]. Он позволяет, по сравнению с [1], исследовать осесимметричные задачи в более общей постановке – при произвольном расположении заземлителя и произвольных границах раздела слоев, учитывает анизотропию сопротивлений слоев грунта, сопротивление материала заземлителя, обеспечивает высокую наглядность всех этапов решения задачи. Результаты вычислений представляются в виде цветных картин распределения потенциалов, плотностей токов и других параметров с возможно-

стью определения их числовых значений в любой точке модели задачи и по любой линии с построением графика.

В состав модели могут быть подключены элементы электрической цепи, что позволяет моделировать работу любой измерительной схемы. При моделировании, проведенном в версии Elcut 4.1 для 10-слойной осесимметричной задачи, рассмотренной в [1], получено для сопротивления заземлителя  $R=0,4129$  Ом при  $R=0,42$  Ом в [1] (погрешность менее 2%). Аналогичная погрешность получена при решении задач 1–6, представленных в таблице в [1]. Отмечается слабая зависимость сопротивления заземлителя от глубины его залегания в диапазоне от 0 до 0,5 м.

Несомненно, большие возможности открывает использование новых профессиональных версий Elcut 6.2 и Elcut 6.3, расширяющих возможности решения трехмерных задач растекания токов без необходимости сведения их к осесимметричным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.В. Оценка сопротивления заземлителя подстанции в многослойном грунте. – Электричество, 2014, № 2, с. 25–31.
2. Конторович М.И., Астрахан М.И., Акимов В.П. и др. Электродинамика сетчатых структур/Под ред. М.И. Конторовича. – М.: Радио и связь, 1987, 136 с.
3. Сайт: [www.tor.ru](http://www.tor.ru)

*А в т о р ы: Садков Виктор Дмитриевич окончил Горьковский политехнический институт им. А.А. Жданова в 1969 г. В 1982 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка устройств на основе распределенных резистивных структур» в Минском радиотехническом институте. Доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ).*

*Фомина Ксения Сергеевна – студентка НГТУ.*

\* По поводу статьи Горшкова А.В. – Электричество, 2014, № 2, с. 25–31.

### Ответ автора

Профессиональные программы расчета характеристик электромагнитных полей типа ELCUT [2] действительно позволяют достоверно определить параметры заземляющих устройств при наиболее общей постановке задачи (при многослойности и анизотропии грунта, произвольной конфигурации заземлителя и т.п.).

К сожалению, такого рода программы пока еще не имеют массового распространения в проектных организациях и службах организаций электроэнергетики, в обязанности которых входит расчетное определение параметров заземляющих устройств подстанций высокого напряжения.

В связи с этим, естественно, возникли следующие задачи:

1) разработка *инженерного* метода расчета сопротивления заземлителя подстанции высокого напряжения, расположенного в многослойном грунте, т.е. расчетного метода без использования профессиональных программ типа ELCUT;

2) разработка достоверной методики приведения (преобразования) многослойного грунта к эквивалентному двухслойному грунту, позволяющей проводить расчеты параметров (сопротивления, напряжения прикосновения и др.) заземлителей подстанций в имеющихся компьютерных программах, использующих *двухслойную* модель грунта, например «ОРУ-М» [3].

Полученные с определенной точностью решения обеих задач приведены в [1]. При этом следует отметить, что приемлемая точность полученных решений дополнительно подтверждена вами путем сравнения приведенных в [1] примерах с расчетами в программе ELCUT.

Кроме того, следует отметить, что приведенная в [1] методика приведения многослойного грунта к эквивалентному двухслойному грунту имеет ценное прикладное назначение — данное преобразование может быть использовано и при расчетах параметров (сопротивления, напряжения прикосновения и др.) заземлителей подстанций в программах, использующих многослойную модель грунта типа ELCUT, что позволит *многokrатно сократить* время расчета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горшков А.В.** Оценка сопротивления заземлителя подстанции в многослойном грунте. — Электричество, 2014, № 2, с. 25–31.

2. **Сайт:** [www.tor.ru](http://www.tor.ru)

3. **Роспатент рег. № 2002611768.** Программный комплекс для расчета параметров заземляющих устройств «ОРУ-М». — РАО «ЕЭС России», Московский энергетический институт (ТУ), ООО «НПФ ЭЛНАП» 2002 г.

**Горшков А.В.**