

УДК 681.3: 621.3

## АВТОМАТИЗАЦІЯ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*Г.Н. Агеева*

Защитное заземление является наиболее распространенной и весьма эффективной мерой защиты от поражения током в случае прикосновения к корпусу или другим металлическим нетоковедущим конструкциям электроустановок, оказавшимся под напряжением.

Снижение напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и др., достигается снижением потенциала заземленного оборудования или выравниванием потенциалов грунтового основания и заземленного оборудования. В первом случае снижение достигается посредством уменьшения сопротивления заземления, во втором - повышением потенциала основания до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования.

Конструирование и расчет заземляющих устройств осуществляется на базе основных положений электротехники с учетом климатических, гидрогеологических особенностей участка застройки и сводится к определению количества, размеров и схемы размещения заземлителей, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превысят допустимых значений.

Анализ решений, реализованных институтом «НИИпроектреконструкция» в электротехнической части проектов реконструкции, строительства зданий и сооружений различного назначения, позволил выявить основные задачи:

- ◆ проверка соответствия существующей конструкции заземляющего устройства основному расчетному требованию;
- ◆ подбор конструкции заземляющего устройства, удовлетворяющего основному расчетному требованию;
- ◆ учет многослойности грунтовых оснований
- ◆ и автоматизировать процесс их решения («Исследование методик и автоматизация расчета заземляющих устройств»: Отчет о НИР. - №ГР0198U000554, инв.№0298U000857).

Основным результатом является программа автоматизированного расчета и конструирования заземляющих устройств «*TIERRA*» (св-во ПАН №1131, 1998г.).

Наиболее эффективно применение программы при конструировании (моделировании) заземляющего устройства, т.к. именно этот процесс требует осуществления многократно повторяющихся вычислительных операций. Программа позволяет упростить работу со справочными материалами, необходимыми для выполнения расчета, а также реализовать вариантное проектирование.

Рассмотрены четыре класса задач (рисунок 1).

Для построения алгоритма реализации задач за основу принята методика расчета по допустимому напряжению и соответствующие расчетным условиям допущения.

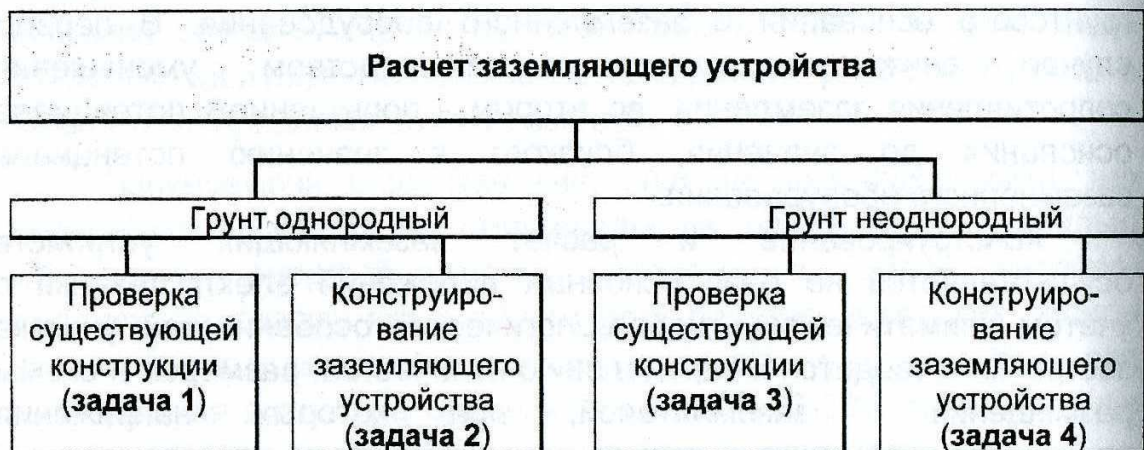


Рисунок 1 - Схема реализации расчета

Расчет реализован в следующей последовательности:

- ◆ сбор исходных данных (таблица 1);
- ◆ определение расчетного тока замыкания на землю;
- ◆ определение сопротивления растеканию заземляющего устройства;
- ◆ определение сопротивления искусственного заземлителя;
- ◆ подбор типа заземлителя, назначение предварительной схемы размещения на плане электроустановки заземляющего устройства;
- ◆ корректировка принятого решения.

Таблица 1

## Сводная таблица исходных данных

№ п/п	Параметры	№№ задач			
		1	2	3	4
1	Климатическая зона	*	*	*	*
2	Вид грунта	*	*		
2.1	Состояние грунта (влажность)	*	*		
3	Вид грунта (послойно)			*	*
3.1	Состояние грунтов послойно			*	*
4	Толщины слоев грунта, м			*	*
5	Схема размещения вертикальных заземлителей	*	*	*	*
6	Глубина погружения электродов от поверхности грунта, м	*	*	*	*
7	<b>Вертикальные заземлители</b>				
7.1	Конструкция	*	***	*	***
7.2	Геометрические характеристики	*	***	*	***
7.3	Количество, шт.	*	***	*	***
8	<b>Горизонтальные заземлители</b>				
8.1	Конструкция	*	***	*	***
8.2	Геометрические характеристики	*	***	*	***
8.3	Длина, м	*	***	*	***
9	Расстояние между вертикальными электродами, м	*	***	*	***
10	Максимально допустимая длина вертикального электрода (без учета глубины погружения), м		*		*
11	Размер площади заземления, мхм		*		*

## Примечания:

1. Знаком «\*» отмечены данные, используемые в качестве исходных;
2. Знаком «\*\*\*» отмечены данные, определяемые расчетом;
3. Затененные графы (колонки) соответствуют данным, не используемым в задаче.

Конструирование заземляющего устройства носит поверочный характер и выполняется путем последовательного приближения основных параметров принятого заземлителя - форма, размеры, схема размещения - к тем, которые в конечном итоге будут способствовать выполнению основного расчетного условия безопасного заземления.

В качестве расчетных приняты искусственные заземлители: одиночные вертикальные и горизонтальные электроды; групповые системы из нескольких вертикальных электродов, верхние концы которых объединены горизонтальной связью-электродом. Групповая система может быть линейно протяженной или замкнутой, способ

размещения заземлителей - в ряд или по контуру - определяется по плану электроустановки.

Минимальные размеры элементов заземления принимаются из условия механической прочности и экономической целесообразности (таблица 2)

Таблица 2

## Конструктивные требования

Тип электрода	Материал	Геометрические характеристики	Размеры
Горизонтальный электрод	Стальная полоса	$b_n$ - ширина полосы, мм	12 - 40
		$t_n$ - толщина полосы, мм	$\geq 04$
		<b>Условие прочности</b> $t_n \geq 4$ мм; $b_n \times t_n \geq 48$ мм <sup>2</sup> ; т.е. $b_n \geq 12$ мм	
	Сталь круглая	$d$ - диаметр, мм	$\geq 10$
Вертикальный электрод	Сталь круглая	$d$ - диаметр, мм	$\geq 10$
			$\geq 6$ - для оцинкованных стержней
		$l$ - длина, м	$\geq 2,5$ м
	Сталь угловая	$b$ - ширина полки, мм; $h$ - толщина полки, мм; $b \times b \times h$	$b \geq 40$ ; $h \geq 4$
		$l$ - длина, м	2,5-3,0
	Стальные трубы	$d$ - диаметр, мм	35*; 50*
$\Delta t$ - толщина стенки, мм		$\geq 3,5^*$	

\* - экономически нецелесообразно.

Особенностью расчета является учет свойств грунтовых оснований.

Свойства однородных грунтовых оснований описываются величиной удельного сопротивления электропередаче  $\rho$ . Для многослойных вводится эквивалентная величина удельного сопротивления  $\rho_{\text{эkv}}$  и используются соответствующие модели неоднородных по свойствам сред, определяется условная толщина слоя сезонных изменений  $h_c$ , а вместо коэффициентов сезонности  $k_c$  и  $k_n$  принимается коэффициент  $k^*$ , используемый только для грунтов, располагаемых в пределах  $h_c$ .

Для двухслойного основания значение

$$\rho_{\text{эkv}} = f(l; \Delta l_1; \Delta l_2; \rho_1^*; \rho_2^*),$$

где  $l$  - длина электрода, м;

$\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  - длины участков вертикального электрода, находящихся в верхнем и нижнем слоях основания соответственно, м;

$\rho_1^*$  и  $\rho_2^*$  - удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев основания соответственно, определенные с учетом размещения слоев в пределах условного слоя сезонных изменений, Ом·м.

В случае размещения вертикального электрода в многослойном основании последнее приводится к двухслойной модели, «верхний условный слой» которого включает слои с большими значениями  $\rho_i$ , а «нижний условный слой» - слои с меньшими значениями  $\rho_i$ . При этом расчетные величины удельных сопротивлений «условных слоев»:

$$\rho_{1-рас} = f(l_1 \div l_k; \rho_1^* \div \rho_k^*),$$

$$\rho_{2-рас} = f(l_{k+1} \div l_m; \rho_{k+1}^* \div \rho_m^*),$$

где  $l_i$  - длина участка вертикального электрода, расположенного в  $i$ -ом слое грунта, м;

$\rho_i^*$  - удельное сопротивление  $i$ -го слоя основания, определенное с учетом его размещения в пределах условного слоя сезонных изменений,

индексы от 1 до  $k$  соответствуют слоям грунтов, вошедшим в верхний, а от  $(k+1)$  до  $m$  - в нижний «условные» слои.

Эквивалентное значение удельного сопротивления:

$$\rho_{эkv} = f(l; \Delta l_{1-рас}; \Delta l_{2-рас}; \rho_{1-рас}^*; \rho_{2-рас}^*),$$

где  $\Delta l_{1-рас}$ ;  $\Delta l_{2-рас}$  - длины участков вертикальных электродов, расположенных в верхнем и нижнем условных слоях соответственно, м.

Коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных электродов, входящих в систему группового заземлителя, принимаются в зависимости от формы, размеров и схемы размещения и учитывают взаимодействие полей растекания тока различных электродов.

При написании программы использована теория и методика так называемого визуального программирования.

Использованы RAD-технология написания приложений для Windows, библиотека BDE для получения доступа к таблицам, а также ANSI SQL для выполнения запросов к таблицам.

Программа состоит из основных форм (рисунок 2):

- fmMain** - главная форма программы, из которой осуществляется вызов форм проверки и моделирования, справки, информации о программе, установки отчетов;
- fmReg** - форма, содержащая организационные сведения расчета, используемые далее при подготовке результатов;
- fmTask1** - форма, в которой производится проверка существующей конструкции заземляющего устройства, располагаемого в однородном или неоднородном грунте (задача 1 и задача 3);
- fmTask2** - форма, в которой производится конструирование (моделирование) заземляющего устройства, располагаемого в однородном или неоднородном грунте (задача 2 и задача 4).

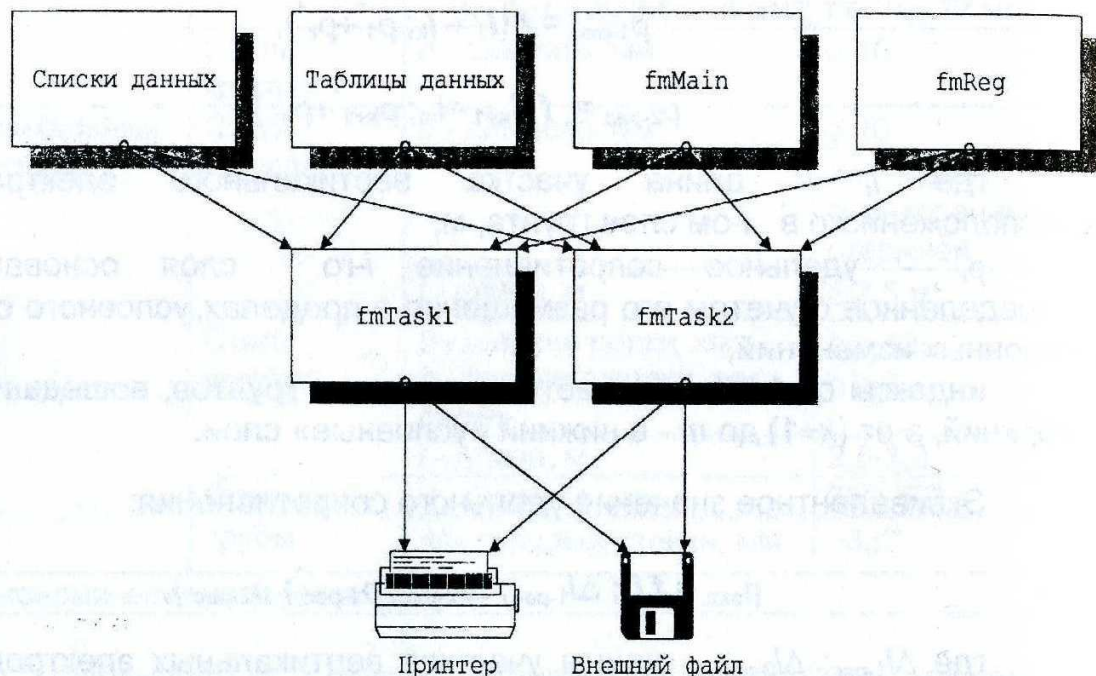


Рисунок 2 – Схема организации связи данных

Комплексное использование нескольких современных алгоритмических языков (*Borland C++ Builder 1.0 Pro* – для реализации задач; *SQL* скрипт – для обеспечения запросов к базам данных) следует отнести к удачным примерам системного подхода к реализации программного продукта, а современный дизайн в сочетании с технологией *Windows* обеспечил простоту и удобство для пользователя.

Программа использована для конструирования заземляющих устройств объектов реконструкции в г.Киеве по ул.Шота Руставели,13, ул.Минской,19-а, ул.Предславинской, 11-13, пер.Снежнянскому,8.