

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТА В МЕСТАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ УКРАИНЫ

*На основі аналізу результатів зондування отримано статистичний розподіл кількості шарів ґрунту в місцях розташування енергооб'єктів України, розроблено рекомендації щодо застосування метода еквівалентування багатошарових геоелектричних структур при визначенні нормованих параметрів заземлювальних пристроїв. Доведена необхідність створення математичної моделі заземлювального пристрою, розташованого в трьохшаровому ґрунті, а також нової установки для зондування ґрунту, котра дозволить збільшити глибину зондування, та засобів інтерпретації. Бібл. 5, табл. 4, рис. 7.*

**Ключові слова:** трьохшарова геоелектрична структура, вертикальне електричне зондування, заземлювальний пристрій, ґрунт, енергооб'єкт.

*На основании анализа результатов зондирования получено статистическое распределение слоистости грунтов в местах расположения энергообъектов Украины, разработаны рекомендации о применимости метода эквивалентирования многослойных геоэлектрических структур при определении нормируемых параметров заземляющих устройств. Доказана необходимость создания математической модели заземляющего устройства, расположенного в трехслойном грунте, а также новой установки для зондирования грунта, позволяющей увеличить глубину зондирования, и средств интерпретации. Библ. 5, табл. 4, рис. 7.*

**Ключевые слова:** трехслойная геоэлектрическая структура, вертикальное электрическое зондирование, заземляющее устройство, грунт, энергообъект.

**Постановка проблеми.** Заземляющее устройство (ЗУ) электроустановок играет исключительно важную роль в обеспечении безопасности обслуживающего персонала и надежной работы оборудования.

При проведении электромагнитной диагностики (ЭМД) ЗУ [1], осуществляется следующий комплекс работ: определение реального расположения естественных и искусственных заземлителей, измерение нормируемых параметров (напряжения прикосновения, потенциала на ЗУ и сопротивления ЗУ), а также проведение вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) грунта.

Ввиду того, что значения нормируемых параметров ЗУ существенно зависят от электрофизических характеристик грунта, результаты ВЭЗ являются одними из важнейших исходных данных для проведения расчета ЗУ как в процессе проведения предпроектных изысканий, так и при контроле состояния ЗУ действующей электроустановки.

Накопленные данные (с 1997 по 2014 гг. сотрудниками НИПКИ «Молния» была проведена ЭМД ЗУ более чем для 1000 энергообъектов Украины) показывают, что существует значительный разброс удельных электрических сопротивлений (УЭС) и мощностей слоев, поэтому назрела необходимость анализа результатов зондирования грунта в местах расположения энергообъектов для последующего совершенствования программно-технических средств, используемых на расчетном этапе ЭМД ЗУ [2].

**Методика проведения ВЭЗ при ЭМД ЗУ.** Целью проведения ВЭЗ является определение параметров геоэлектрической структуры путем инжектирования испытательного тока с помощью генератора в грунт и измерения падения напряжения на определенном участке его поверхности. При этом длина разности токовых и потенциальных электродов обуславливается типом установки и глубиной зондирования. Электрофизические характеристики (ЭФХ) грунта (количество слоев, их УЭС и мощность) определяют

с использованием различных средств интерпретации результатов экспериментальных измерений (палеток или специальных расчетных программ).

Наиболее широкое применение в рамках проведения ЭМД ЗУ получила четырехэлектродная симметричная установка, или т.н. установка Веннера (см. рис. 1). К ее достоинствам следует отнести:

- слабая чувствительность к профильным включениям;
- прямая зависимость между разномом электродов и глубиной зондирования;
- более простые выражения для расчета кажущегося удельного электрического сопротивления за счет равенства межэлектродного расстояния между токовыми и потенциальными электродами.

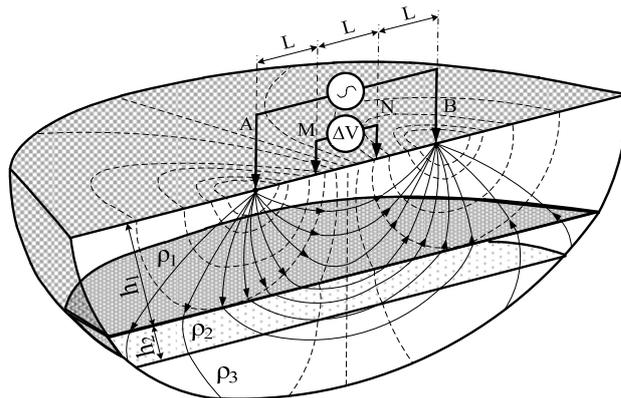


Рис. 1

В установке используется питающая цепь, образованная генератором и токовыми электродами  $A, B$ , а также измерительная цепь, образованная вольтметром и потенциальными электродами  $M, N$ . Токовые электроды рассматриваются как два точечных источника тока, а величина кажущегося УЭС равна произведению измеренного сопротивления на геометрический

коэффициент установки. Глубина зондирования установки Веннера оценивается как расстояние между двумя ближайшими электродами [3], которое выбирается исходя из размеров ЗУ.

Формулы для определения кажущегося УЭС  $\rho$  как функции от величины разноса электродов  $L$  в многослойной среде с плоскопараллельными границами раздела для установки Веннера будут иметь вид:

- при двухслойной структуре:

$$\rho = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K_{2,1}^n \left[ \frac{L}{\sqrt{L^2 + (2nh)^2}} - \frac{L}{\sqrt{4L^2 + (2nh)^2}} \right] \right\},$$

где  $h$  – глубина раздела слоев в двухслойной и общая мера в трехслойной моделях,  $K_{2,1} = [(\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)]$  – коэффициент неоднородности,  $n$  – номер члена ряда,  $L$  – расстояние между ближайшими электродами;

- при трехслойной структуре:

$$\rho = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} q_n^n \left[ \frac{L}{\sqrt{L^2 + (2nh)^2}} - \frac{L}{\sqrt{4L^2 + (2nh)^2}} \right] \right\},$$

где  $q_n$  – коэффициент разложения подынтегральной функции [4].

На основании указанных выражений для интерпретации результатов ВЭЗ разработана и реализована компьютерная программа «VEZ-3\_EQ». Она позволяет:

- в интерактивном режиме определить параметры трехслойной и двухслойной моделей грунта;
- в автоматическом режиме найти параметры двухслойной модели грунта (на основании поиска глобального минимума по методу Хука-Дживса [5]);
- привести трехслойную геоэлектрическую структуру к эквивалентной одно- и (или) двухслойной модели грунта. При этом под эквивалентной понимается модель с такими характеристиками геоэлектрической структуры земли, при которых данный заземлитель будет обладать теми же электрическими параметрами, что и в исходной многослойной структуре.

При получении выражений для эквивалентирования рассматривается прямоугольный столб грунта со стороной  $a = 1$  м и высотой  $H$ . При протекании токов нормального и тангенциального направлений ( $I_n$  и  $I_t$  соответственно) определяются суммарные поперечное (нормальное) сопротивление и продольная (тангенциальная) проводимость (см. рис. 2).

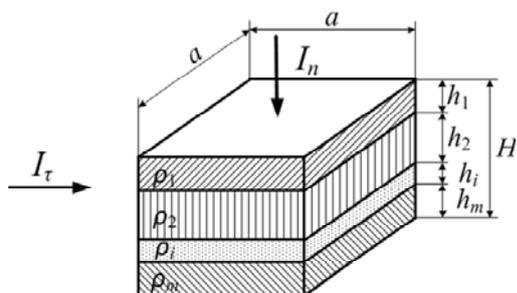


Рис. 2

Для приведения многослойной геоэлектрической структуры к эквивалентной нами путем решения системы алгебраических уравнений на основании метода, предложенного в [3], были получены выражения для

определения эквивалентных УЭС  $\rho_3$  и мощности эквивалентного слоя  $h_3$ :

$$\rho_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^m h_i \cdot \rho_i \times \left( \sum_{i=1}^m \frac{h_i}{\rho_i} \right)^{-1}}; \quad h_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^m h_i \cdot \rho_i \times \sum_{i=1}^m \frac{h_i}{\rho_i}},$$

где  $\rho_i$  и  $h_i$  – УЭС и мощность  $i$ -го слоя.

В связи с тем, что на значение потенциала на поверхности грунта, напряжение прикосновения и напряжение шага, больше всего влияет соотношение УЭС верхних слоев, а на сопротивление и потенциал на ЗУ – слою, находящиеся вблизи ЗУ и ниже него, то приведение многослойной геоэлектрической структуры к эквивалентной двухслойной, осуществляется с соблюдением инвариантности какого-либо из рассматриваемых параметров [3]. Таким образом, сформировалось два наиболее распространенных способа эквивалентирования при расчете нормируемых параметров ЗУ:

*Способ №1* – верхний слой исходной геоэлектрической структуры рассматривают как первый слой эквивалентной двухслойной, а второй и последующие слои – как эквивалентный (считается, что данный способ позволяет с наименьшими погрешностями определить распределение потенциала на поверхности грунта и напряжение прикосновения);

*Способ №2* – все верхние слои представляют в виде первого слоя эквивалентной геоэлектрической структуры, а нижний (или же находящиеся ниже относительно вертикальных элементов ЗУ остальные слои) – второго слоя (данный способ принято использовать при расчете сопротивления и потенциала ЗУ).

**Статистический анализ результатов ВЭЗ.** На основании результатов ВЭЗ, проведенных в период с 2007 по 2012 гг. включительно, с помощью описанных выше методики и средств была составлена база данных для 612 измерений, произведенных в различных областях Украины на территории энергообъектов.

Как указано в [2] ЭФХ грунта во многом определяют как глубину зондирования, так и вообще возможность применения конкретной установки ВЭЗ, а также задают определенные требования к приборам с точки зрения мощности и чувствительности. Кроме этого число слоев геоэлектрической структуры формирует требования к математическим моделям для интерпретации результатов ВЭЗ и расчета нормируемых параметров ЗУ. Поэтому для решения задач, поставленных в [2], по разработке критериев выбора установки, средств интерпретации результатов ВЭЗ и расчета нормируемых параметров ЗУ в зависимости от особенностей объекта и ЭФХ грунта необходимо провести статистический анализ ЭФХ грунта для составленной базы данных по обследованным энергообъектам. Кроме этого на основании указанного анализа необходимо сформулировать четкие требования к используемым приборам при проведении ВЭЗ в зависимости от величины УЭС грунта и глубины зондирования.

На основании анализа экспериментальных кривых ВЭЗ, а также результатов их интерпретации было получено статистическое распределение грунтов по числу слоев (см. рис. 3).

Как видно из рис. 3, абсолютное большинство грунтов в местах размещения электрических станций и подстанций имеет трехслойную структуру и соответственно для снижения погрешности при проведении расчетов необходимо использовать математическую модель ЗУ, размещенного в грунте с числом слоев не менее трех.

На рис. 4 приведен аналогичный анализ, характеризующий распределение грунтов по числу слоев для ряда регионов Украины.

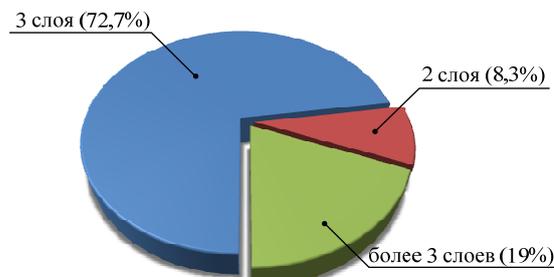


Рис. 3

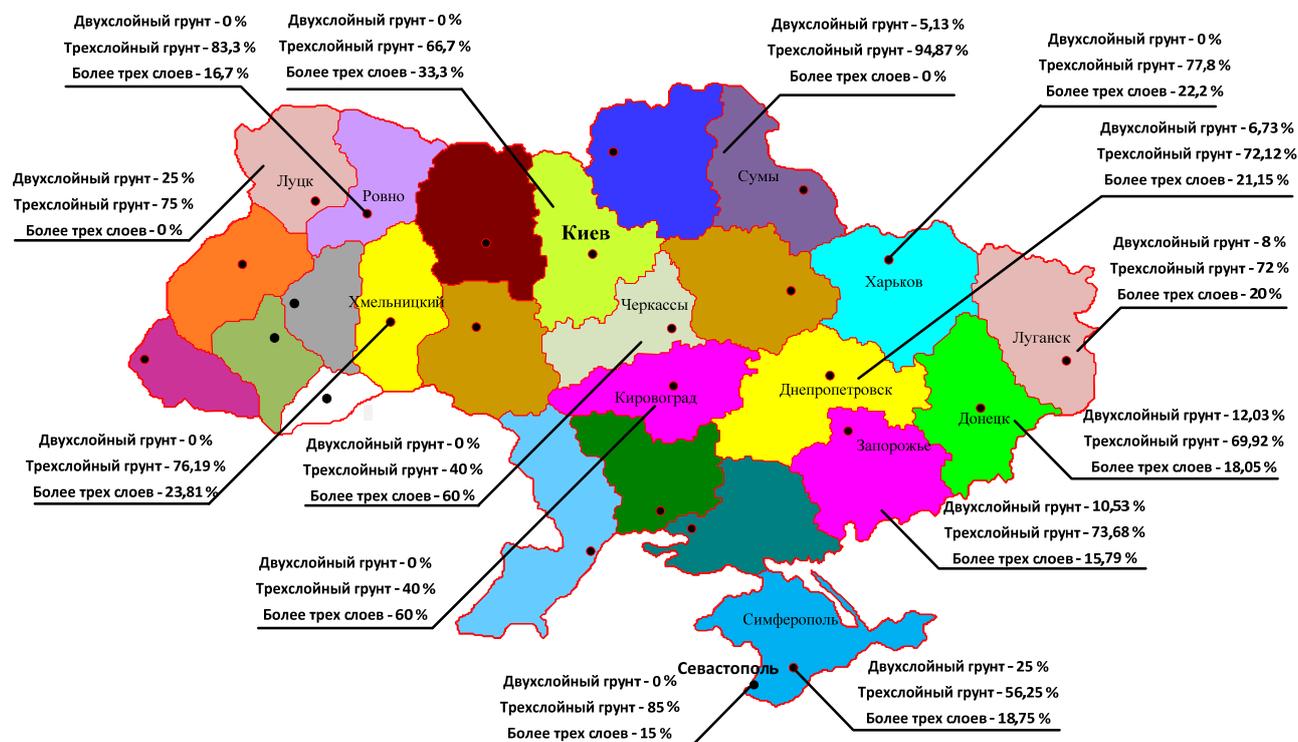


Рис. 4

По регионам процентное соотношение трехслойных грунтов изменяется в пределах от 40 % (Кировоградская область) до 94,8 % (Сумская область). Максимальный же процент двухслойных грунтов достигает лишь 25 % (Волинская область). Следовательно, используемая в настоящее время математическая модель для расчета нормируемых параметров ЗУ позволяет напрямую (без эквивалентирования) произвести расчет в среднем по Украине лишь для 8,3 % ЗУ.

В процессе анализа базы данных результатов ВЭЗ были определены их статистические характеристики: среднее, мода, медиана и т.д., которые приведены в табл. 1. При этом общее число трехслойных грунтов в статистическом анализе значений ЭФХ возросло и составило 592 из 612. Это связано с тем, что некоторая часть грунтов, ранее отнесенная к двухслойным, более точно описывается с помощью трехслойной модели, а также тем, что в виду отсутствия необходимых средств интерпретации кривые ВЭЗ с числом слоев более трех при проведении ЭМД интерпретируются в виде трехслойного грунта.

Как видно из табл. 1, УЭС грунтов на территории энергообъектов Украины для первого слоя лежит в пределах от 5,5 до 8700 Ом·м, при этом медиана составляет лишь 75 Ом·м, т. е. 50 % УЭС лежит в пре-

делах от 5,5 до 75 Ом·м. С учетом полученных значений УЭС всех слоев, приборы для проведения ВЭЗ при ЭМД ЗУ, должны иметь предел измерения от 0,3 до 9000 Ом·м. Однако, следует отметить, что данные значения являются предельными. Для того, чтобы оценить оптимальные требования, воспользуемся гистограммами распределения данных параметров (на рис. 5,а распределение УЭС для трех слоев, а на рис.5,б – мощности данных слоев).

Таблица 1

	$\rho_1/\rho_2$	$\rho_2/\rho_3$	$\rho_1/\rho_3$	$\rho_1$ , Ом·м	$\rho_2$ , Ом·м	$\rho_3$ , Ом·м	$h_1$ , м	$h_2$ , м
Среднее	5,12	6,03	12,11	183,9	136,93	67,63	0,79	5,46
Медиана	2,75	2,29	4,31	75	29	18	0,45	4
Мода	5	0,5	2	200	15	30	0,2	10
Минимум	0,017	0,004	0,018	5,5	1,2	0,3	0,02	0,01
Максимум	83,3	416,7	625	8700	7000	9000	10	35
Выборка	612	592	592	612	612	592	612	592

Из анализа гистограмм, изображенных на рис. 5,а, при суммировании частоты для всех слоев и расчете относительной частоты следует, что УЭС находящийся в пределах  $\rho \in [10; 2000]$  Ом·м охватывает 99 % случаев, а предел  $\rho \in [10; 1000]$  Ом·м – 98 %, что значительно уменьшает требуемый интервал измеряемых значений. Наиболее часто встречающиеся

мощности (99 % случаев) лежат в пределах для  $h_1 \in [0,1; 7,5]$  м и для  $h_2 \in [0,5; 30]$  м.

Таким образом, определены диапазоны предельных и наиболее часто встречающихся значений ЭФХ грунтов в местах расположения энергообъектов Украины.

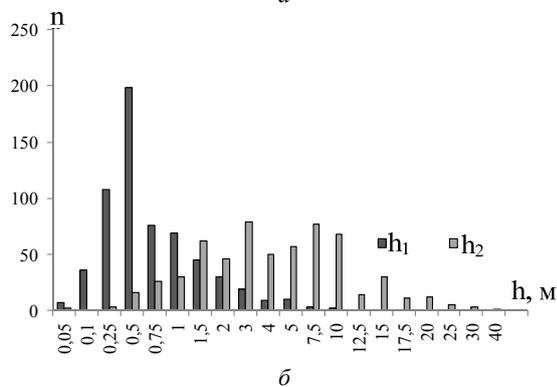
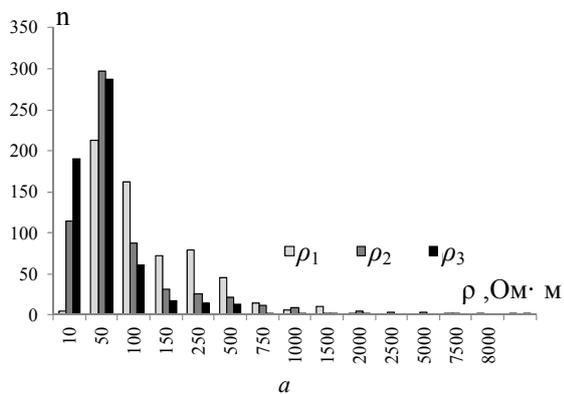
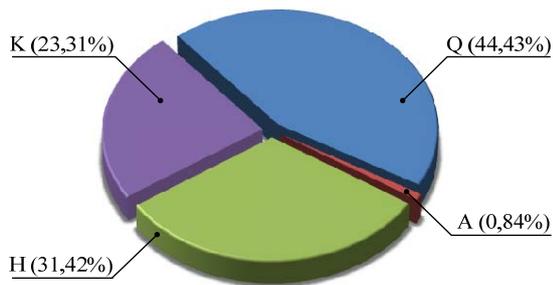


Рис. 5

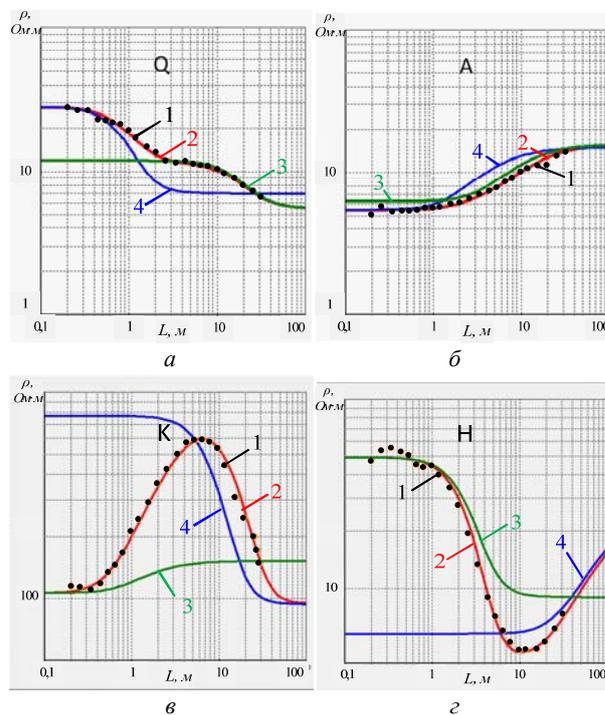
**Оценка влияния эквивалентирования.** Применение методов эквивалентирования к ЭФХ многослойного грунта значительно влияет на результаты проведения расчетов нормируемых параметров ЗУ [3]. При этом, как показывает многолетняя практика выполнения подобных расчетов, приведение трехслойных грунтов к двухслойной модели методом эквивалентирования может давать значительные погрешности при вычислении потенциалов в зависимости от типа кривой ВЭЗ и порядкового номера слоя, в котором расположено ЗУ. Известно, что существует четыре типа кривых ВЭЗ [3], каждый из которых определяется по соотношению удельных сопротивлений слоев.

Для базы данных результатов ВЭЗ был произведен анализ процентного распределения типов кривых ВЭЗ в среднем по Украине в местах расположения энергообъектов (см. рис. 6).



Q –  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ ; A –  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ; H –  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ ; K –  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$   
Рис. 6

На рис. 7 приведены графики экспериментально измеренных значений кажущегося УЭС, описывающих трехслойную геоэлектрическую структуру, а также аппроксимирующие их кривые, полученные при интерпретации четырех типов кривых ВЭЗ.



1 – экспериментальные точки; 2 – интерпретация трехслойной моделью; 3 – эквивалентирование по способу №1; 4 – эквивалентирование по способу №2

Рис. 7

В работе был проведен анализ влияния способов эквивалентирования на точность расчета нормируемых параметров при интерпретации различных типов кривых ВЭЗ. Для этого были проведены расчеты потенциала электрического поля ЗУ, выполненного в виде квадрата со стороной 5 м и расположенного параллельно слоям геоэлектрической структуры. Значения потенциала были получены при протекании тока плотностью 1 А/м в вершинах исследуемого ЗУ для различных способов эквивалентирования и на разных глубинах: на поверхности грунта (при  $z = 0$  м, что соответствует расчету напряжению прикосновения), вблизи самого ЗУ ( $z = t$ , что соответствует расчету потенциала на ЗУ и сопротивлению ЗУ) и на глубине равной трем диагоналям ( $z = 3D$ , где поле ЗУ приближается к полю точечного источника тока).

За истинные значения потенциала приняты значения, полученные при расчете потенциала электрического поля этого же ЗУ с помощью разработанной авторами математической модели ЗУ, размещенного в трехслойном грунте, которая позволяет определить распределения потенциала электрического поля при стекании с ЗУ тока заданной плотности [4]. При расчете ЗУ, размещенного в первом слое на глубине  $t = 0,8$  м в качестве значений УЭС, взяты предельные значения грунтов из табл. 1, а  $h_1$  и  $h_2$ , равные средним значениям – 0,79 м и 5,46 м соответственно. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип кривой		Q	K	H	A
Параметры грунта:	$\rho_1, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	8700	184	8700	5,5
	$\rho_2, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	137	7000	137	137
	$\rho_3, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	0,3	30	9000	9000
Погрешность способа №1	$z = 0 \text{ м}$	6,5	76,9	-108	12,1
	$z = t$	2,2	71,0	-39,4	11,7
	$z = 3D$	-709	-661	-58,5	31,1
Погрешность способа №2	$z = 0 \text{ м}$	73,3	-172	64,8	-36,6
	$z = t$	88,0	-266	84,3	-59,9
	$z = 3D$	-19,6	-55,8	-423	-23,7

В табл. 3 показаны результаты аналогичного расчета для ЗУ, размещенного во втором слое на глубине  $t = 1,2 \text{ м}$ , а в качестве значений УЭС и мощности слоев взяты соответственно  $\rho_i = 10; 100; 1000 \text{ Ом м}$ ,  $h_1 = 1 \text{ м}$  и  $h_2 = 8 \text{ м}$ .

Как следует из полученных результатов, эквивалентирование с помощью способа №1 для типов грунта Q и A, если ЗУ расположено в первом слое, дает довольно низкую погрешность (до 12,1 %), и до - 32,3 % для ЗУ расположенного во втором слое.

Таблица 3

Тип кривой		Q	K	H	A
Параметры грунта:	$\rho_1, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	10	1000	10
	$\rho_2, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	100	1000	10	100
	$\rho_3, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	1000	10	1000	1000
Погрешность способа №1, %	$z = 0 \text{ м}$	-28,0	49,3	37,2	-12,6
	$z = t$	-32,3	89,3	-40,2	-174
	$z = 3D$	-3,6	-639	66,8	16,6
Погрешность способа №2, %	$z = 0 \text{ м}$	73,8	-256	85,0	-28,3
	$z = t$	76	36,6	68,4	-5,1
	$z = 3D$	-60,2	-1366	97,5	-3,7

В табл. 4 приведен анализ результатов расчета (знаком «+» отмечено завышение потенциала более чем на 20%, знаком «-» занижение более чем на 20%, «0», если погрешность не превышает  $\pm 20\%$ ).

Таблица 4

Способ №1/ Способ №2	ЗУ находится:							
	в первом слое				во втором слое			
	Q	K	A	H	Q	K	A	H
$z = 0 \text{ м}$	0/+	+/-	0/-	-/+	-/+	+/-	0/-	+/+
$z = t$	0/+	+/-	0/-	-/+	-/+	+/+	-/0	-/+
$z = 3\cdot D$	-/0	-/-	+/-	-/-	0/-	-/-	0/0	+/+

На основании результатов расчета в табл. 2 – 4 показано, что точность определения потенциала, созданного при стекании токов КЗ с ЗУ, при помощи метода эквивалентирования многослойного грунта существенно зависит от типа кривой ВЭС.

#### Выводы.

В результате проведенных исследований можно сделать ряд выводов:

- наиболее распространенными геоэлектрическими структурами в местах расположения энергообъектов Украины, как в отдельных регионах, так и в целом по Украине являются трехслойные грунты (72,7 % в среднем по Украине);

- необходимо разработать средства интерпретации результатов ВЭС при проведении ЭМД ЗУ моделью грунта с числом слоев более трех, так как применяемые

в настоящее время охватывают не более 81% случаев диагностики;

- используемая в настоящее время математическая модель ЗУ, размещенного в двухслойном грунте, позволяет напрямую без эквивалентирования производить расчеты лишь для 8,3 %;

- существует корреляция между типом грунта, глубиной залегания ЗУ и завышением (занижением) величины потенциала, полученной в результате применения способов эквивалентирования;

- применение того или иного способа эквивалентирования должно определяться не только типом требуемого расчета, как считалось ранее, (напряжения прикосновения или потенциала на ЗУ), а и типом эквивалентированного трехслойного грунта, и порядковым номером слоя, в котором расположено ЗУ;

- применение эквивалентирования является корректным для грунтов типа Q и A, при этом если ЗУ находится в первом слое, то следует использовать способ №1 (результаты расчета могут быть завышены не более чем на 12,1 %);

- используемая в настоящее время математическая модель ЗУ, расположенного в двухслойном грунте не позволяет корректно производить расчет нормируемых параметров ЗУ, расположенных в грунтах типа K и H, которые составляют почти 55 % от всех грунтов Украины;

- разработка математической модели ЗУ, расположенного в трехслойном грунте, является первоочередной задачей с точки зрения повышения точности расчета нормируемых параметров, т.к. используемая в настоящее время модель охватывает лишь 22,5 % всех ЗУ (8,3 % – двухслойных грунтов и 14,2 % – ЗУ расположенных в первом слое грунтов типа Q и A).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681-19:2009 – [Чинний від 2010-03-29]. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54 с. – (Національний стандарт України).
2. Колиушко Г.М., Колиушко Д.Г., Руденко С.С. К вопросу повышения точности расчета нормируемых параметров заземляющих устройств действующих электроустановок // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – №4. – С. 65-70.
3. Коструба С.И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с.
4. Колиушко Д.Г., Руденко С.С. Математическая модель заземляющего устройства энергообъекта при наличии подстилающего слоя // Электронное моделирование. – 2014. – Т.36. – №2. – С. 89-97.
5. Петков О.О., Колиушко Д.Г., Лінк І.Ю. Визначення параметрів двошарової моделі ґрунту за результатами вертикального електричного зондування, проведеного в районі розташування підстанцій // Електрифікація та автоматизація сільськогосподарства. – 2004. – №2(7). – С. 3-11.

#### REFERENCES

1. SOU 31.2-21677681-19:2009. Viprobuвання ta kontrol' prystryoyiv zazemlennya elektroustanovok. Tipova instruktciya. [SOU 31.2-21677681-19:2009. Test and control devices, electrical grounding. Standard instruction]. Kyiv, Minenergovugillya Ukrainy Publ., 2010. 54 p. (Ukr).
2. Koliushko G.M., Koliushko D.G., Rudenko S.S. On the problem of increasing computation accuracy for rated parameters of

active electrical installation ground grids. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electrical engineering & electromechanics*, 2014, no.4, pp. 65-70. (Rus).

3. Kostruba S.I. *Izmerenie elektricheskikh parametrov zemli i zazemlyayushchikh ustroystv* [Measurement of electrical parameters of the earth and ground grids]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 168 p. (Rus).

4. Koliushko D.G., Rudenko S.S. Mathematical model of grounding connection of a power plant with under layer. *Elektronnoe modelirovanie – Electronic modeling*, 2014, vol.36, no.2, pp. 89-97. (Rus).

5. Petkov A.A., Koliushko D.G., Link I.Y. Determination of parameters two-layer model of ground on the results for the vertical electric sounding conducted in the vicinity of substation. *Elektrifikatsiya ta avtomatizatsiya silskogo gospodarstva – Electrification and automation of agriculture*, 2004, no.2(7), pp. 3-11. (Ukr).

Поступила (received) 12.02.2015

Коліушко Денис Георгієвич<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с.,  
Руденко Сергій Сергеевич<sup>1</sup>, аспірант, м.н.с.,  
Коліушко Георгій Михайлович<sup>1</sup>, к.т.н., в.н.с.,  
<sup>1</sup> Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
61002, Харків, ул. Фрунзе, 21,  
e-mail: nio5\_molniya@ukr.net

D.G. Koliushko<sup>1</sup>, S.S. Rudenko<sup>1</sup>, G.M. Koliushko<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

#### **Analysis of electrophysical characteristics of grounds in the vicinity electrical substation of Ukraine.**

**Purpose.** Definition of the direction for further research to improve accuracy of the calculation of rated parameters of ground grids based on the analysis of statistical databases of electro-physical characteristics of the soil. **Methodology.** To solve this problem we compiled the statistical base of soil of Ukraine in

the location of electrical substation, we performed the statistical analysis for the number of layers of geoelectric structure, and electrical characteristics. In the experiments implemented the comparing of accuracy calculation of the most typical three-layer soil in the Ukraine, by the new three-layer model of ground grids and the equivalent two-layer model, which used previously.

**Results.** On the results of analysis the ranges of the electrical resistivity and statistical distribution for electro-physical characteristics of the soil are determined. The resulting distributions allow to develop criteria for instruments, installations and means of interpretation during the sounding of soil, as well as the requirements for mathematical models of ground grids. It was found that the most typical for places of locations the electrical substations in Ukraine are three-layer geoelectric structures. In the paper the statistical distribution for three-layer soil by type ( $Q$ ,  $K$ ,  $H$ ,  $A$ ) are described. The results of numerical experiments show that the use of methods to simplify of the multilayers soil does not allow the calculation of grounding grids with high accuracy. In the work recommendations for applicability the method equivalent depending on the type of geoelectric structure are developed. **Originality.** For the first time, we obtained the statistical distribution of stratification of the soil in the location of power plant in Ukraine, determined the accuracy of the method to simplify a multi-layer soil in determining the rated parameters of grounding grids. In the paper the necessity to develop a mathematical model of the grounding device located in the three-layer soil is shown, as well as a new installation of soil sounding, which allows to increase the depth of sounding and new means of interpreting the results of sounding Wenner installing a four-layers geoelectric structure. **Practical value** The resulting recommendations for the applicability of equivalent of multilayer soil, as well as research in specific work areas would help to reduce costs on materials and labours during the modernization and upgrade of grounding devices, moreover it will increase the electrical safety and reliable operation of electrical substation. Reference 5, tables 4, figures 7.

**Key words:** three-layer geoelectric structure, vertical electrical sounding, ground grids, soil, substation.