

УДК 621.313.33

П.Ф. Буданов, О.П. Нечуйвигер, А.Ю. Мезеря, А.М. Чернюк, Ю.А. Пархоменко

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ОБЪЁМНОГО ТЕЛА ЭЛЕКТРОЛИТА В ГРУНТЕ ПРИ РАБОТЕ ПЕРЕНОСНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

В статье рассмотрены вопросы заземления передвижных электроустановок и доказана целесообразность применения переносных электролитических заземлителей (ПЭЗ) для обеспечения нормируемого сопротивления заземления. Кроме того, проведено описание: основных направлений исследований теоретических и экспериментальных исследований особенностей работы ПЭЗ; экспериментальных исследований на физической модели и результаты экспериментальных исследований по определению формы объёмного тела электролита в грунте. Предложен новый метод определения формы объёмного тела электролита в грунте – метод продольных срезов. Произведена математическая обработка результатов эксперимента путём аппроксимации экспериментальных кривых методом наименьших квадратов. Определены характерные области объёмного тела электролита в грунте. Произведена систематизация результатов эксперимента и определена погрешность аппроксимации.

Ключевые слова: заземление передвижных электроустановок, переносной электролитический заземлитель, метод продольных срезов, объёмное тело электролита в грунте, аппроксимация.

Введение

Постановка проблемы и анализ публикаций.

Передвижные электроустановки являются объектом повышенной опасности поражения человека электрическим током, так как эксплуатируются в самых неблагоприятных условиях. Обеспечение безопасной эксплуатации передвижных электроустановок является важной задачей. Основной защитной мерой является устройство защитного заземления [1 – 4]. С этой целью созданы различные виды заземляющих устройств, главной частью которых является искусственный заземлитель. В настоящее время штатные заземлители передвижных электроустановок, даже при значительных затратах на их монтаж, не обеспечивают нормируемое сопротивление заземления в грунтах с высоким удельным сопротивлением растеканию тока. В связи с этим предлагается использовать электролитические заземлители (ЭЗ) [2 – 4]. Данный тип заземлителей обеспечивает создание заземляющего устройства с допустимым сопротивлением при минимальных затратах труда и времени.

До настоящего времени не было проведено полномасштабных теоретических исследований работы электролитических заземлителей. С целью определения основных параметров работы ЭЗ необходимо разработать математическую модель, которая позволяла бы определять интегральные показатели распределения потенциала, сопротивления, напряжения и прочих электрических параметров, характерных для работы заземляющего устройства при различных начальных условиях. Это позволит установить чёткие корреляционные связи и сформировать рекомендации по выбору параметров ЭЗ для различных условий работы передвижной электроустановки.

В рамках работы над математической моделью электролитического заземлителя встал вопрос об определении формы объёмного тела электролита в грунте и математическом описании данной формы. С этой целью были решены следующие задачи:

- проведены экспериментальные исследования;
- найдена аналитическая зависимость между глубиной проникновения электролита в грунт в направлениях декартовой системы координат;
- определён объём тела электролита в грунте;
- установлена адекватность полученной зависимости экспериментальным данным.

Основная часть

1. Экспериментальные исследования.

Обработка грунта электролитом создаёт локальную неоднородность в месте заземления.

Характер неоднородности растекания электролита в грунте определяются рядом факторов:

- составом и свойствами электролита;
- структурой грунта (составом, наличием неоднородностей);
- состоянием грунта (начальная влажность, температура и т.д.).

Под действием этих факторов формируется объёмное тело электролита в грунте.

Экспериментальное определение форм объёмного тела для различных грунтов производилось на физической модели методом продольных срезов.

Суть метода состоит в следующем. Получают ряд продольных срезов при различных значениях объёма электролита пропитанного в грунт. Способ получения срезов следующий. В фанерный короб с одной съёмной стенкой засыпается испытуемый тип грунта. В

спеціальную *оправку* пустотелой цилиндрической формы с губкой внутри заливается *электролит* определённого объёма. После полной пропитки электроли-

та в грунт извлекается *оправка* и осуществляется вертикальный срез при помощи листа оргстекла. Срез производится по осевой линии *оправки* (рис. 1).

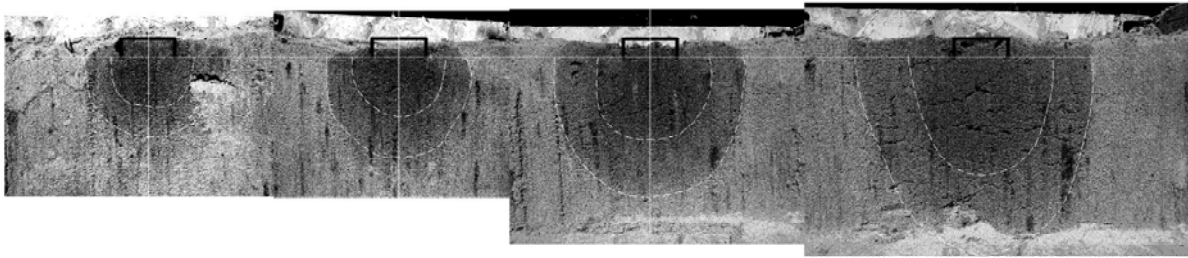


Рис. 1. Фото срезов грунта «влажный песок» для 20, 40, 80 и 120 мл электролита соответственно

Снимается съёмная стенка *короба* и скапывается половину грунта до оргстекла. Сквозь оргстекло виден продольный (вертикальный) срез. Производится фото среза для дальнейшей графической обработки результатов. В качестве электролита был использован медный купорос. Этот тип электролита хорош тем, что прост в изготовлении, имеет яркий синий цвет хорошо заметный на срезе, а так же относительно дешёвый, что позволит в значительной мере снизить эксплуатационные затраты при работе заземлителя.

В статье представлены результаты исследования на влажном песке. Данные исследования позволили получить форму объёмного тела электролита в дина-

мике увеличения объёма электролита в грунте. Так же экспериментально было установлено, что объёмное тело электролита имеет две характерные области: весь объём тела, образованный распределённой влагой и характерную область, где в процессе фильтрации осели реагирующие вещества электролита.

Как видно из результатов графической обработки экспериментальных форм срезов (рис. 2) объёмное тело электролита в грунте имеет явно выраженную, но неправильную форму.

По графическим изображениям кривых видим, что в качестве эмпирической формулы можно рассматривать параболу.

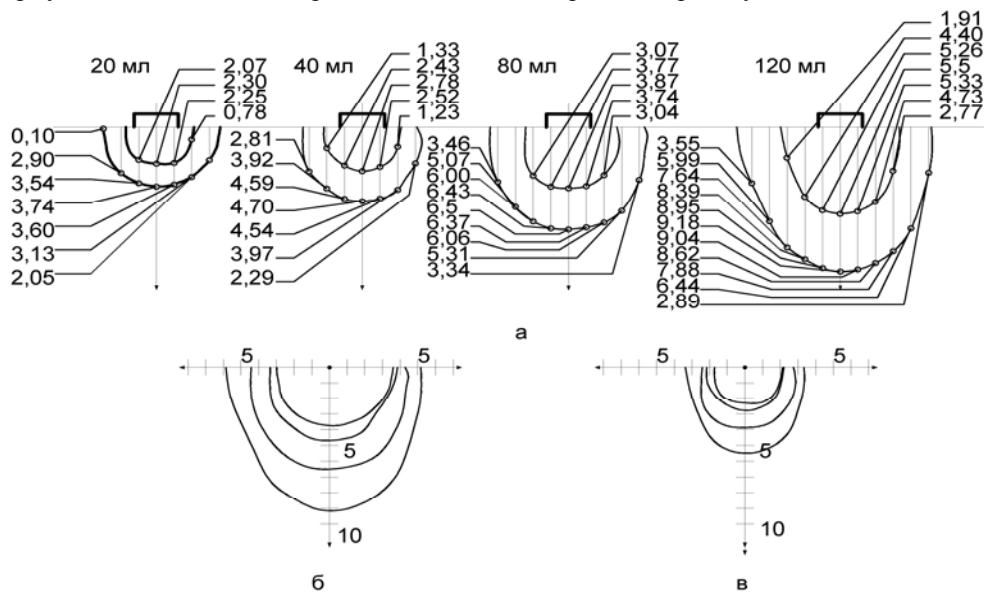


Рис. 2. Графическая обработка результатов (влажный песок): а – обработка фотосъёмки срезов грунта «влажный песок»; б – динамика распределения влаги в грунте; в – динамика распределения в грунте реагирующего вещества

Отклонения от идеальной параболической формы обусловлены реальными условиями, которые вносят некоторую неоднородность и рядом случайных факторов. Так в сухом песке присутствуют комки ссохшегося песка и песка более рыхлого, встречаются мелкие включения глинистой или чернозёмной почвы, мелкие камни и т.д.

Некоторые отклонения так же обусловлены действием срезающей пластины, которая может не-

сколько «смазывать» картину среза и заменой грунта при каждом измерении.

2. Аппроксимация экспериментальных зависимостей методом наименьших квадратов.

Одной из важных задач в инженерной практике является поиск закономерностей в явлениях природы.

Средством для выполнения этой задачи есть накопление экспериментальных данных и с их помощью получение некоторых математических ре-

зультатов. Применительно к конкретному случаю в общем виде задачу можно формулировать так.

Известно, что между x и y существует функциональная зависимость и в результате исследований получена некоторая таблица значений (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость между x и y

x_i	x_1	x_2	...	x_n
y_i	y_1	y_2	...	y_n

По этим данным необходимо построить аналитическую функцию (эмпирическую формулу) которая приближённо представляла бы связь между x и y .

Построение эмпирической функции происходит в два этапа:

- выяснение общего вида формулы;
- нахождение наилучших их параметров.

Одним из распространённых методов нахождения наилучших параметров эмпирической формулы есть метод наименьших квадратов.

При выборе эмпирической формулы большое значение имеет геометрическое изображение экспериментальных данных. По графику можно определить общий вид зависимости между величинами.

Если в качестве эмпирической формулы рассматривать прямую

$$P_1(x) = a_0 + a_1x,$$

то параметры a_0 и a_1 согласно методу наименьших квадратов можно найти из системы:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases}$$

В случае если эмпирическая формула есть парабола,

$$P_2(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2,$$

то коэффициенты a_0 , a_1 и a_2 находим из системы:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^m = \sum_{i=1}^n y_i; \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} = \sum_{i=1}^n y_i x_i; \\ \dots \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i^m + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{m-1} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{2m} = \sum_{i=1}^n y_i x_i^m. \end{cases}$$

Среднеквадратичную погрешность аппроксимации функции полинома можно вычислить по формуле:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (P_m(x_i) - y_i)^2} \quad m = 1, 2.$$

Значение среднеквадратичной погрешности аппроксимации экспериментальных данных является

важным показателем, по которому можно судить о возможности в дальнейших исследованиях применять параболическую форму объёмного тела электролита в грунте.

Объём данного тела в динамике расхода электролита можно определить как объём тела вращения образованного вращением половиной параболы вокруг вертикальной оси как:

$$V = \left| 2\pi \int_0^{x_{nn}} (P_2(x) \cdot x) dx \right|.$$

3. Результаты вычислительного эксперимента.

Результаты математической обработки экспериментальных данных представлены в сводной табл. 2. и показаны в виде графиков аппроксимации кривых распределения электролита в грунте (рис. 3).

Таблица 2

Результаты экспериментальных данных

Параметр		Объём электролита, мл					
		20	40	80	120		
Значение коэффициентов	Влага	a_0	-3,773	-4,976	-7,002	-9,64	
	Продукты электролита		-2,292	-2,707	-4,308	-5,705	
	Влага	a_1	-0,106	0,025	-0,003	0,0013	
	Продукты электролита		-0,264	0,0039	0,0032	-0,055	
	Объём тела, см ³	Влага	a_2	0,248	0,299	0,259	0,257
		Продукты электролита		0,376	0,309	0,453	0,357
Среднеквадратичная погрешность	Влага	Абсолютная, см	104	126	296	567	
	Продукты электролита		31	37	64	150	
Среднеквадратичная погрешность	Влага	Относительная %	0,48	0,24	0,47	0,46	
	Продукты электролита		0,35	0,14	0,4	0,25	
Среднеквадратичная погрешность	Влага	Относительная %	2,5	0,9	0,98	0,6	
	Продукты электролита		4,7	1,4	2,3	0,8	

Выводы

В результате проведенных исследований можно утверждать, что:

1. Для описания формы объёмного тела электролита в грунте при создании математической модели можно использовать параболу, пропорции которой будут зависеть от физических свойств грунта.

2. Кривые распределения электролита в грунте можно аппроксимировать параболической функцией методом наименьших квадратов. Такая аппроксимация будет иметь приемлемую погрешность. В настоящее время ведутся работы по определению формы объёмного тела электролита в грунте для различных грунтов, что даст возможность определить коэффициенты параболических кривых при различных физических свойствах грунта.

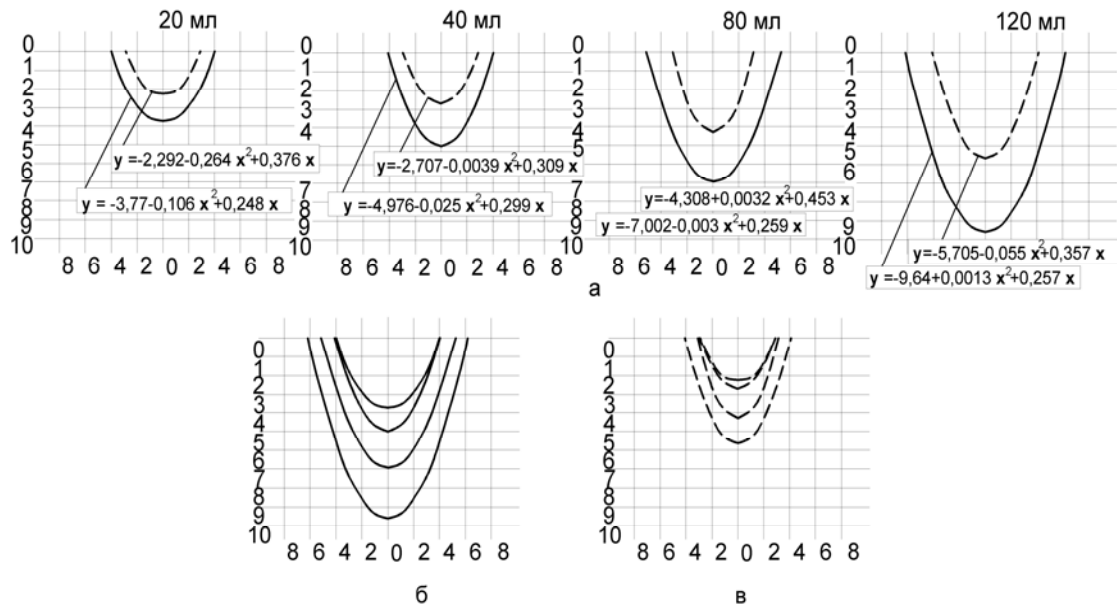


Рис. 3. Аппроксимация кривых распределения электролита в грунте:
 а – результаты аппроксимации кривых распределения электролита в грунте; б – динамика распределения влаги в грунте; в – динамика распределения в грунте реагирующего вещества

Список литературы

1. Найфельд М.Р. *Заземление, защитные меры электробезопасности*, изд. 4-е перераб. и доп. / М.Р. Найфельд. – М.: Энергия, 1971.
2. Карякин Р.Н. *Справочник по молниезащите* / Р.Н. Карякин. – М.: Энергосервис, 2005.
3. Манойлов В.Е. *Основы электробезопасности* / В.Е. Манойлов. – Л.: Энергия, 1971.
4. *Охрана труда в электроустановках* / В.Г. Иванов, С.В. Иванов, Ю.С. Рубан, С.Д. Тулунов. – Х., 1997.
5. Ляпунов Р.А., Сапига Н.Н., Иванов В.Г., Минка В.А., Макаренко В.Г. Авторское свидетельство №886109 «Переносной заземлитель» 31.03.1980.

6. Ляпунов Р.А., Сапига Н.Н., Иванов В.Г., Минка В.А. Авторское свидетельство №964803 «Переносной заземлитель» 11.03.1981.

7. Артюх С.Ф., Иванов В.Г., Мезеря А.Ю., Чернюк А.М., Колобродов С.О. Патент на корисну модель №46648 Переносний електролітичний заземлювач 25.12.2009.

8. Литвин О.М. *Математичні методи та моделі в розрахунках на ПЕОМ: навч. посіб.* / О.М. Литвин, Л.С. Лобанов. – Х.: УІПА, 2004.

Поступила в редколлегию 22.12.2011

Рецензент: д-р техн. наук Г.И. Канюк, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ОБ'ЄМНОГО ТІЛА ЕЛЕКТРОЛІТУ В ҐРУНТІ ПРИБОРОМ ПЕРЕНЕСНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ЗАЗЕМЛІТЕЛЕЙ

П.Ф. Буданов, О.П. Нечуйвітер, А.Ю. Мезеря, А.М. Чернюк, Ю.О. Пархоменко

У статті розглянуті питання заземлення пересувних електроустановок і доведена доцільність застосування переносних електролітичних заземлювачів (ПЕЗ) для забезпечення нормованого опору заземлення. Крім того, проведений опис: основних напрямів теоретичних і експериментальних досліджень особливостей роботи ПЕЗ; експериментальних досліджень на фізичній моделі і результати експериментальних досліджень за визначенням форми об'ємного тіла електроліту в ґрунті. Запропонований новий метод визначення форми об'ємного тіла електроліту в ґрунті – метод подовжніх зрізів. Проведена математична обробка результатів експерименту шляхом апроксимації експериментальних кривих методом найменших квадратів. Визначені характерні області об'ємного тіла електроліту в ґрунті. Проведена систематизація результатів експерименту і визначена погрешність апроксимації.

Ключові слова: заземлення пересувних електроустановок, переносний електролітичний заземлювач, метод подовжніх зрізів, об'ємне тіло електроліту в ґрунті, апроксимація.

DETERMINATION OF FORM OF BY VOLUME BODY OF ELECTROLYTE IN SOIL DURING WORK OF PORTABLE ELECTROLYTIC GROUND

P.F. Budanov, O.P. Nechuyviter, A.Yu. Mezerya, A.M. Chernyuk, Yu.A. Parkhomenko

In the article the questions of grounding of movable електроустановок are considered and expedience of application is proved portable electrolytic grounds (PEG) for providing of the rationed resistance of grounding. In addition, description is conducted: basic directions of theoretical and experimental researches of features of work of PEG; experimental researches on a physical model and results of experimental researches on determination of form of by volume body of electrolyte in soil. The new method of determination of form of by volume body of electrolyte is offered in soil is a method of longitudinal cuts. Mathematical treatment of results of experiment by approximation of experimental curves is made by a least-squares method. The characteristic areas of by volume body of electrolyte are certain in soil. Systematization of results of experiment is made and the error of approximation is certain.

Keywords: grounding of movable електроустановок, portable electrolytic ground, method of longitudinal cuts, by volume body of electrolyte in soil, approximation.