

*ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЕКАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА В ГРУНТЕ
С ПОВЕРХНОСТНОГО ПЕРЕНОСНОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ
ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ТИПА*

В.И. ДЕМИН, Л.А. ПАШИНЯН, Л.В. ЛАВРИНЕНКО

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: umanchanin@rambler.ru*

Для известных конструкций поверхностных переносных заземлителей электролитического типа (ППЗЭЛТ) поставлена задача исследовать процесс растекания электролита в грунте. В основе математического описания рабочего процесса и методов исследования заземляющих устройств лежит модель системы заземлитель – земля. Для описания изучаемых явлений применительно к заземляющим устройствам используются два вида моделирования – математическое и физическое. Для упрощения рассмотрения процесса растекания электролита в грунте приняты допущения. Принятые для рассмотрения элементарный куб грунта и размещение в нем частиц грунта позволяют сделать вывод о том, что процесс растекания воды в грунте носит случайный характер. Для описания этого процесса принята функция нормального распределения капель воды в грунте, так как она присуща очень широкому кругу случайных величин, встречающихся в инженерной практике. Для получения более точной картины растекания воды в грунте в работе составлена вероятностная модель движения капель воды в грунте, на основании которой разработан алгоритм исследования движения капель воды в грунте, в соответствии с которым получена программа для ЭВМ. Полученные результаты исследования позволили сделать вывод о том, что форма растекания воды в грунте с ППЗЭЛТ представляет собой усеченный эллипсоид вращения.

Ключевые слова: поверхностный переносной заземлитель электролитического типа, передвижная электроустановка, электробезопасность, заземляющее устройство.

О необходимости разработки и применения поверхностных переносных заземлителей электролитического типа (ППЗЭЛТ) отмечено в [1]. Там же на основе анализа структуры и свойств грунта сделан вывод о возможности достижения электролитического контакта заземляемого объекта с грунтом.

В [2] определена возможная область применения ППЗЭЛТ, а именно для обеспечения электробезопасности при эксплуатации передвижных электроустановок (ПЭУ) - подъемников каротажных, станций каротажных, лабораторий перфораторных станций, проведен достаточно глубокий анализ конструктивных особенностей известных электролитических заземлителей и способов их эксплуатации [3-8].

В основе математического описания рабочего процесса и методов исследования заземляющих устройств лежит модель системы заземлитель - земля. Модель, как известно, должна наиболее полно отражать влияние факторов, определяющих рассматриваемое явление.

Для описания изучаемых явлений применительно к заземляющим устройствам используются два вида моделирования – математическое и физическое.

В [9] достаточно глубоко рассмотрена теория электрических полей и характеристики простых и сложных заземлителей в однородной и неоднородной земле. В связи с особенностями конструкции и применения ППЗЭЛТ стоит задача разработать математическую модель этого заземлителя.

Для этого необходимо провести исследование процесса растекания электролита в грунте.

Для упрощения рассмотрения процесса растекания электролита в грунте приняты следующие допущения:

1. Частицы грунта одинаковы по размерам и имеют форму шара.
2. Рассматривается элементарный куб грунта, частицы которого расположены, как показано на рисунке 1.
3. Грунт по всей глубине однородный.
4. В качестве электролита принята вода.
5. Вода попадает в грунт в виде капель одинаковой шарообразной формы, таким образом, как показано на рисунке 1.

Принятые для рассмотрения элементарный куб грунта и размещение в нем частиц грунта позволяют сделать вывод о том, что процесс растекания воды в грунте носит случайный характер.

Следовательно, для описания этого процесса необходимо знать функцию распределения капель воды в грунте.

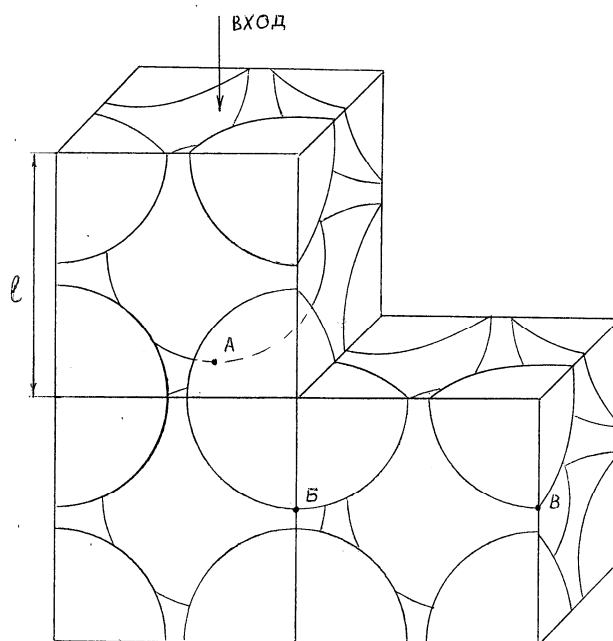


Рисунок 1 – Элементарный куб грунта

Из [10] известно, что нормальное распределение присуще очень широкому кругу случайных величин, встречающихся в инженерной практике.

Для определения формы растекания воды в грунте под ППЗЛЭТ было проведено физическое моделирование процесса растекания. Результаты эксперимента показали, что форма растекания очень близка к эллипсоиду вращения.

Тогда, для эллипсоида вращения нормальное распределение двумерного случайного вектора $\{x, y\}$ определяется плотностью

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{1}{2(1-r_{x,y}^2)} \left[\frac{(x-m_x)^2}{\sigma_x^2} - 2r_{x,y} \frac{(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-m_y)^2}{\sigma_y^2} \right]},$$

где m_x, m_y – математическое ожидание ошибок по глубине и боковому направлению растекания воды в грунте;

σ_x, σ_y – стандартное отклонение по глубине и боковому направлению растекания воды в грунте;

$r_{x,y}$ – коэффициент корреляции.

С помощью разработанной программы на ЭВМ были получены графики нормального распределения воды в грунте для

$$m_x = 1, m_y = 1, \sigma_x = 0,8, \sigma_y = 0,8, r_{x,y} = 0,001.$$

Полученные графики позволили сделать предварительный вывод о возможности применения нормального закона распределения к описанию процесса растекания воды с поверхности ППЗЭЛТ.

Для получения более точной картины растекания воды в грунте необходимо составить вероятностную модель движения капель воды в грунте.

В соответствии с рисунком 1 и учитывая случайный характер движения капель воды в грунте, вероятностная модель будет иметь вид, показанный на рисунке 2.

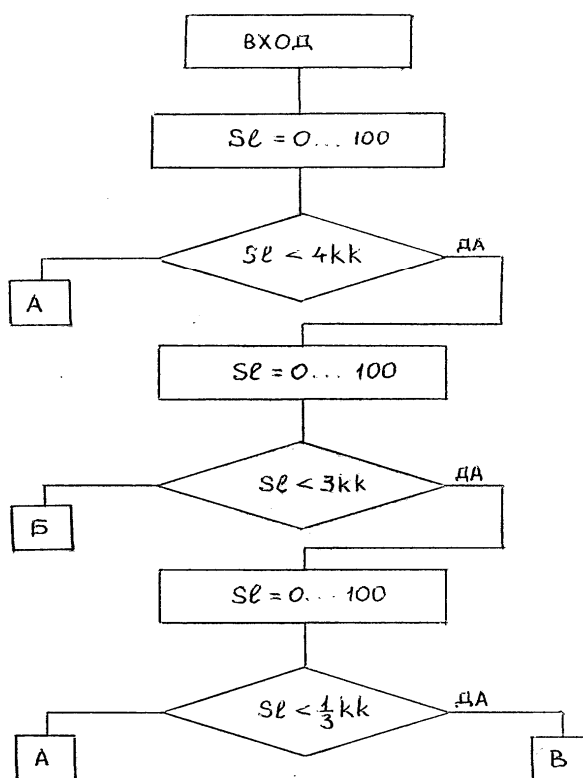


Рисунок 2 – Вероятностная модель движения капли воды в грунте

На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

А, Б, В – точки элементарного куба грунта (рисунок 1), в которые возможно попадание капли воды;

Sl – случайная величина;

kk – относительный размер капли воды.

На основе вероятностной модели разработан алгоритм исследования движения капель воды в грунте, в соответствии с которым получена программа для ЭВМ.

Разработанная программа позволила исследовать движение капель воды в грунте в трехмерном пространстве (x,y,z) . Для этого формируется по каждой оси массив $[0...20]$ и предполагается, что движение капель воды начинается в этом массиве в средней части.

В программе приняты следующие обозначения:

x, y, z и x_p, y_p, z_p – входные и выходные координаты капли воды в грунте соответственно;

r_k – коэффициент грунта;

s_k – коэффициент смачиваемости частицы грунта каплями воды;

k_k – относительный размер капли воды;

l – глубина проникновения капли воды в элементарном кубе грунта (рисунок 1).

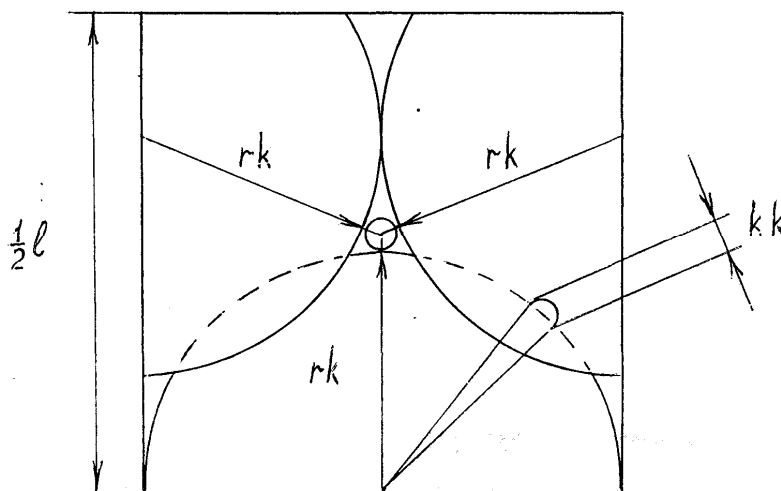


Рисунок 3 – Фрагмент элементарного куба грунта

На рисунке 3 представлен фрагмент элементарного куба грунта, из которого глубина проникновения капли воды

$$l = r_k \cdot 4\sqrt{11} + r_k .$$

Размер капли воды определяется размером пор пористой пробки (дна) ППЗЭЛТ. Средний размер пор пористых материалов, рекомендуемых для изготовления пористой пробки, лежит в пределах 0,012...0,3 мм.

Из [11] можно заключить, что твердая компонента всех грунтов, за небольшим исключением, состоит из отдельных кристаллов, обломков

кристаллов или обломков пород, получивших название структурных элементов. Размер структурных элементов может изменяться от долей микрона до десятков сантиметров.

В таблице 1 приведен гранулометрический состав наиболее распространенных грунтов.

Таблица 1 – Гранулометрический состав грунта

Тип грунта	Содержание частиц (мм), %			
	0,25 - 0,5	0,1 – 0,25	0,05 – 0,1	0,002
Глина				30 - 60
Суглинок легкий			20	
Суглинок тяжелый				20 - 30
Супесь легкая	20			
Супесь тяжелая				6 - 10
Пески:				
среднезернистый	70			
мелкозернистый		70		
тонкозернистый			70	

Из анализа гранулометрического состава (таблица 1) видно, что для наиболее распространенного типа грунта суглинка легкого содержание частиц размером 0,05...0,1 мм составляет 20%. Для исследования процесса растекания воды в грунте на вероятностной модели принят радиус частиц грунта 0,05 мм.

Тогда движение капли воды в грунте будет иметь место при выполнении условия $rk < 0,05$.

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что форма растекания воды в грунте представляет собой усеченный эллипсоид вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демин В.И. О возможности достижения электролитического контакта заземляемого корпуса передвижной электроустановки с грунтом [Электронный ресурс] // Научные труды КубГТУ: электрон. сетевой политематич. журн. 2015. № 6. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/485>.
2. Демин В.И., Пашинян Л.А. Анализ конструктивных особенностей электролитических заземлителей// Вестник Ассоциации буровых подрядчиков, 2015, № 3. – с. 44 - 48.
3. А.с. 1343476 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Заземлитель/Р.А. Ляпунов, В.И. Демин, А.В. Варфоломеев (СССР). - № 4093186/24-07; заявл. 23.04.86; опубл. 07.10.87, Бюл. № 37. - 2 с.: ил.
4. А.с. 1390670 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Способ эксплуатации переносного заземлителя/ Е.С. Есин, В.А. Петров, Н.Н. Сапига, Р.А. Ляпунов, В.И. Демин, А.С. Попов (СССР). - № 4096260; заявл. 05.08.86; опубл. 23.04.88. - 2 с.: ил.
5. А.с. 1429205 СССР, МКИ Н 01 R 4/66, Н 02 В 1/16. Способ эксплуатации переносного заземлителя/Р.А. Ляпунов, Е.С. Есин, В.И. Демин, А.В. Варфоломеев, О.М. Толощук, В.А. Петров, Н.Н. (СССР). - № 4206832; заявл. 09.03.87; опубл. 07.10.88, Бюл. № 37. - 2 с.: ил.
6. А.с. 1582230 СССР, МКИ Н 01 R 4/66. Поверхностный переносной электролитический заземлитель/Р.А. Ляпунов, А.В. Варфоломеев, В.И. Демин (СССР). - № 4375450/24-07; заявл. 30.06.87; опубл. 30.07.90, Бюл. № 28. - 2 с.: ил.
7. Пат. 2092944 Российская Федерация, МПК 6 Н 01 R 4/66. Поверхностный переносной электролитический заземлитель/Ляпунов Р.А., Демин В.И., Варфоломеев А.В.; заявитель и патентообладатель Кубанский гос. технол. ун-т. - № 96111700/07; заявл. 11.06.96; опубл. 10.10.97, Бюл. № 28. - 3 с.: ил.
8. Пат. 2096875 Российская Федерация, МПК 6 Н 01 R 4/66. Способ эксплуатации поверхностного переносного электролитического заземлителя/ Демин В.И., Варфоломеев А.В., Ляпунов Р.А., Детынченко О.В.; заявитель и патентообладатель Демин В.И. - № 95118542/07; заявл. 31.10.95; опубл. 20.11.97, Бюл. № 32. - 3 с.: ил.

9. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - 10-е изд., стер. - М.: Академия, 2005. - 576 с.

11. Грунтоведение/Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т.Трофимова. - 6-е изд., переработ, и доп. - М.: МГУ, 2005. - 1024 с.

REFERENCES

1. Demin V.I. On the possibility of achieving electrical contact grounded electrical movable body with the ground [electronic resource] // Proceedings KubGTU: electron. politematich network. Zh. 2015. № 6. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/485>.

2. Demin V.I., Pashinyan L.A. Analysis of the design features of electrolytic grounding // Bulletin of the Association of Drilling Contractors, 2015, № 3. - p. 44 - 48.

3. AS 1343476 USSR MKI H 01 R 4/66. Earthing / R.A. Lyapunov, V.I. Demin, A.V. Varfolomeyev (USSR). - № 4093186 / 24-07; appl. 23/04/86; publ. 07.10.87, Bul. Number 37. - 2 p. : silt.

4. AS 1390670 USSR MKI H 01 R 4/66. A method of operating a portable earthing / E.S. Esin, V.A. Petrov, N.N. Sapiga, R.A. Lyapunov, V.I. Demin, A.S. Popov (USSR). - № 4096260; appl. 08/05/86; publ. 04.23.88. - 2 p. : silt.

5. AS 1429205 USSR MKI H 01 R 4/66, H 02 B 1/16. A method of operating a portable earthing / R.A. Lyapunov, E.S. Esin, V.I. Demin, A.V. Bartholomeyev, O.M. Toloschuk, V.A. Petrov, NN (THE USSR). - № 4206832; appl. 09/03/87; publ. 07.10.88, Bul. Number 37. - 2 p. : silt.

6. AS 1582230 USSR MKI H 01 R 4/66. Surface portable electron-troliticheskyy earthing / R.A. Lyapunov, A.V. Varfolomeyev, V.I. Demin (USSR). - № 4375450 / 24-07; appl. 30/06/87; publ. 07.30.90, Bul. Number 28. - 2 p. : silt.

7. Pat. Russian Federation 2092944, IPC 6 H 01 R 4/66. Surface portable electrolytic earthing / Lyapunov R.A., Demin V.I., Varfolomeyev A.V.; the applicant and the patentee Kuban State. tehnol. Univ. - № 96111700/07; appl. 11/06/96; publ. 10.10.97, Bul. Number 28. - 3 p. : silt.

8. Pat. Russian Federation 2096875, IPC 6 H 01 R 4/66. A method of operating a portable electrolytic surface earthing / Demin V.I., Varfolomeyev A.V., Lyapunov R.A., Detynchenko O.V.; the applicant and the patentee Demin V.I. - № 95118542/07; appl. 31.10.95; publ. 11.20.97, Bul. Number 32. - 3 p. : silt.

9. Burgsdorf V. V., A.I. Yakobs. The grounding devices of electroinstallations. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 400 pages.

10. Venttsel E.S. Probability theory. - 10th prod., I have erased. - M.: Academy, 2005. - 576 pages.

11. Pedology / Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesensky E.A., Golodkovsky G. A., Vasilchuk Y.K., Ziangirov R.S. Under the editorship of V. T. Trofimov. - 6th prod., reworks, and additional - M.: MSU, 2005. - 1024 pages.

RESEARCH OF PROCESS OF SPREADING OF ELECTROLYTE IN SOIL FROM THE SUPERFICIAL FIGURATIVE GROUNDING CONDUCTOR ELECTROLYTIC TYPE

V.I. DEMIN, L.A. PASHINYAN, L.V. LAVRINENKO

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskayast., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: umanchanin@rambler.ru*

For the known designs of superficial figurative grounding conductors of electrolytic type (PPZELT) the task is set to research process of spreading of electrolyte in soil. At the heart of the mathematical description of working process and methods of research of the grounding devices the model of system a grounding conductor – the earth lies. For the description of the studied phenomena in relation to the grounding devices two types of modeling – mathematical and physical are used. For simplification of consideration of process of spreading of electrolyte in soil assumptions are accepted. The elementary cubes of soil and placement accepted for consideration of soil particles in it allow to draw a conclusion that process of spreading of water in soil carries accidental nature. For the description of this process function of normal distribution of drops of water in soil as it is inherent in very wide range of the random variables which are found in engineering practice is accepted. For receipt of more exact picture of spreading of water in soil in work the probabilistic model of movement of drops of water in soil based on which the algorithm of research of movement of drops of water in soil according to which the computer program is received is developed is constituted. The received results of research have allowed to draw a conclusion that the form of spreading of water in soil with PPZELT represents the truncated rotation ellipsoid.

Key words: a superficial portable grounding conductor of electrolytic type, portable electroinstallation, electrical safety, the grounding device.