

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЧЕРНЮК АРТЕМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.316.953:621.04.8

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ
ЗАЗЕМЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПЕРЕСУВНИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК В
ПІЩАНИХ ГРУНТАХ

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Буданов Павло Феофанович,
Українська інженерно-педагогічна академія,
доцент кафедри електроенергетики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Баранов Михайло Іванович,
Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут
«Молнія» Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
головний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент
Рубаненко Олександр Євгенович,
Вінницький національний
технічний університет, м. Вінниця,
Інститут електроенергетики та електромеханіки,
доцент кафедри електричних станцій і систем

Захист відбудеться «17» жовтня 2013 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «14» вересня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Шевченко С.Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема заземлення пересувних електроустановок є ключовою у вирішенні задач забезпечення експлуатаційної надійності та безпечної роботи цього виду електрообладнання. Забезпечення нормованого опору заземлення пересувних електроустановок потребує монтажу занадто великої кількості штатних заземлювачів, що призводить до неприпустимих матеріальних, часових та трудовитрат.

З 80-х років ХХ сторіччя запропоновані конструкції переносних поверхневих електролітичних заземлювачів (ПЕЗ), які дозволяють значно скоротити час та трудовитрати на монтаж заземлення пересувних електроустановок. Принцип дії такого типу заземлювачів заснований на локальній зміні параметрів ґрунту в місці заземлення шляхом насичення ґрунту електролітом. Таким чином в ґрунті формується об'ємне електролітичне тіло, електрофізичні параметри якого й визначають опір заземлювача в цілому.

Сучасні методи розрахунку заземлення, базуються на використанні заздалегідь відомих геометричних розмірів заземлювачів та усереднених табличними значень питомого опору ґрунту. Для розрахунку опору поверхневих електролітичних заземлювачів застосування таких методів обумовлює значні похибки оскільки формування електролітичного тіла в ґрунті носить випадковий характер і його форма є невизначеною, а питомий опір ґрунту, який вказаний в таблицях для піщаних ґрунтів в залежності від вмісту вологи різниться на декілька порядків. Геометричні дані про розміри заземлювача, який занурений в ґрунт, та питомий опір ґрунту в місці заземлення не можуть бути використані для розрахунку опору електролітичних заземлювачів тому, що саме вони й формуються при роботі систем електролітичного заземлення. Отже, визначення електрофізичних параметрів електролітичних заземлювачів потребує побудови моделі, що враховує геометричні та структурно-фазові характеристики системи ґрунт – електроліт, та є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі електроенергетики УПА у рамках держбюджетних НДР МОН України «Розробка заходів для енергозбереження при експлуатації електростанцій і промислових підприємств» (НДР № ФН – 09 - 03) та госпдоговірної НДР «Удосконалення автоматизованих систем управління енергооб'єктами с метою підвищення надійності та енергоресурсозберігання» ТОВ «Енергетик», м. Харків РН №0112U001909 в яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка методу визначення опору електролітичних заземлювачів на основі аналізу процесу електролітичного заземлення в неоднорідних піщаних ґрунтах, які мають перколяційні та фрактальні властивості з врахуванням структурно-фазових характеристик простору в якому формується об'ємне електролітичне тіло.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

– проведення поглибленого аналізу фізичних процесів, що виникають в піщаному ґрунті при електролітичному заземленні пересувних електроустановок;

– розробка моделі електролітичного заземлення, яка дозволить на основі врахування структурно-фазових характеристик ґрунту провести розрахунок електрофізичних параметрів об'ємного тіла електроліту в ґрунті;

– розробка методу розрахунку опору електролітичного заземлювача, що працює в піщаних ґрунтах;

– постановка та проведення експериментальних досліджень з визначення електрофізичних параметрів електролітичного заземлення в піщаних ґрунтах.

Об'єкт дослідження – процес електролітичного заземлення пересувних електроустановок.

Предмет дослідження – методи визначення електрофізичних параметрів систем електролітичного заземлення пересувних електроустановок.

Методи дослідження базуються на використанні: теорії перколяції для моделювання процесу утворення окремих каналів провідності та загального електролітичного кластеру; апарату фрактальної геометрії для визначення та врахування властивостей електролітичного кластеру в межах об'ємного тіла електроліту в ґрунті; теорії провідності електролітів при розробці методу розрахунку опору електролітичного заземлювача; класичних методах вимірювання опору заземлюючих пристроїв та методів фізичного моделювання для експериментального визначення електрофізичних параметрів поверхневого електролітичного заземлювача.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше розроблена фізична модель електролітичного заземлення в піщаному ґрунті, яка, на відміну від відомих, побудована на основах теорії перколяції та фрактальної геометрії та враховує структурно-фазові зміни ґрунту при насиченні його електролітом.

– вперше отримані аналітичні вирази для розрахунку електрофізичних параметрів об'ємного тіла електроліту в ґрунті, які на відміну від відомих, дозволяють враховувати структурно-фазові зміни ґрунту в межах об'ємного електролітичного тіла та його фрактальні властивості. Аналітичні вирази дозволяють визначати опір ПЕЗ в піщаних ґрунтах різної фракції в залежності від об'єму використаного електроліту;

– знайшли подальший розвиток методи визначення питомого опору ґрунту в частині теоретичного обґрунтування знайдених раніше емпіричних коефіцієнтів. Це дозволить підвищити точність визначення питомого опору піщаного ґрунту;

Практичне значення отриманих результатів для електроенергетичної галузі полягає у наступному:

- підвищення точності інженерних розрахунків опору електролітичного заземлення яке можливо при використанні в якості вихідних даних не усереднених табличних значень питомого опору ґрунту а даних, що відображають геометричні характеристики структурних елементів ґрунту та характеристик провідності електроліту;

- створена лабораторно-дослідницька установка з експериментального визначення електрофізичних параметрів об'ємного тіла ПЕЗ та розроблена відповідна методика проведення експериментальних досліджень;
- проведені польові випробування ПЕЗ які показали доцільність використання ПЕЗ в піщаних ґрунтах. Створений повнорозмірний зразок ПЕЗ дозволяє вивчати його технічно-експлуатаційні характеристики в різних умовах роботи;
- поліпшені експлуатаційні показники ПЕЗ шляхом удосконалення його конструкції (патент України №46648, МПК H02B 1/00 Переносний електролітичний заземлювач);

Отримані практичні результати роботи знайшли своє застосування в системах заземлення пересувних електроустановок що використовуються у виробничому процесі АК «Харківобленерго» (м.Харків), ТОВ «Енергетик» (м. Харків), ТОВ «Мегаполіс +» (м. Харків)

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедр електроенергетики та охорони праці, стандартизації і сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків) при читанні лекцій та практичних занять для студентів за спеціальностями 010104.01 – “Професійна освіта. Енергетика”, 050701.01 – “Електричні станції” та 050701.03 – “Електротехнічні системи електроспоживання”

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, винесені на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: розробка перколяційної моделі електролітичного кластеру провідності ґрунту, визначення механізму утворення електролітичного кластеру об'ємного електролітичного тіла в ґрунті, визначення властивостей електролітичного тіла та встановлення його фрактальної природи, отримання аналітичних виразів для розрахунку електрофізичних параметрів електролітичного тіла, постановка та проведення експериментальних досліджень та інтерпретація їх результатів, участь у впровадженні. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на: X-й Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів і студентів (м. Донецьк, 2010 р.), II - й Міжнародній науково практичній конференції «Якість технологій – якість життя» (м. Судак 2010р.); VIII-й науковій конференції «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: (м. Харків, 2012р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль 19-20 грудня 2012р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 11 наукових публікаціях, з них: 6 статей у фахових виданнях України, 1 патент України, 4 – у матеріалах конференції.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 170 сторінок; 47 рисунків по тексту; 6 рисунків на 3 окремих сторінках; 4 таблиці по тексту; 3 таблиці на 3 окремих сторінках; спи-

ску використаних джерел з 174 найменувань на 18 сторінках, 4 додатки на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Перший розділ присвячено проблемному аналізу науково-технічної інформації щодо способів заземлення електроустановок (зокрема пересувних) та методів визначення параметрів систем заземлення. Проаналізовано сучасний стан питання розрахунку опору заземлювачів можливих існуючих конструкцій. Визначені характерні особливості роботи поверхневих електролітичних заземлювачів (ПЕЗ) пересувних електроустановок (ПЕУ), що впливають на вибір методів визначення їх електрофізичних характеристик.

Встановлено, що існуючі методи розрахунку електрофізичних параметрів ПЕЗ ПЕУ не враховують характерних особливостей їх роботи та можуть мати великі похибки, що обумовлено застосуванням усереднених табличних значень питомого опору ґрунту в місці заземлення та фактором невизначеності геометричних форм і розмірів об'ємного електролітичного тіла в ґрунті і його структурно-фазових характеристик. З цієї причини проведений критичний аналіз можливих розрахункових моделей, які враховують особливості розтікання струму в пористих багатофазних середовищах та зроблений висновок про можливість побудови перколяційної моделі піщаного ґрунту, що просочений електролітом. Така модель дозволить врахувати структурно-фазові характеристики стохастичної системи піщаного ґрунту.

У **другому розділі** обґрунтований вибір методів дослідження, визначені завдання дослідження, розроблена перколяційна модель провідності піщаного ґрунту та отримані аналітичні вирази, що дозволяють визначити електрофізичні параметри ПЕЗ.

Визначено, що для побудови моделей процесів провідності піщаного ґрунту можливо застосування основ теорії перколяції. Модель ґрунту, що просочений електролітом є багатофазовою структурою в якій присутня фаза твердого мінерального піску, фаза повітря та фаза електроліту, що знаходиться в зв'язаному стані (рис. 1). Саме фаза електроліту є такою, що проводить електричний струм. Це обумовлено іонною провідністю електролітів. Основним елементом структури фази твердого діелектричного тіла є піщинка, яка характеризується розміром фракції та геометричною формою, а елементом фази, що проводить є пора, що заповнена електролітом. З цих пор утворюються канали провідності, які можуть з'єднувати ПЕЗ з шарами ґрунту, який має провідність, або тупикові канали.

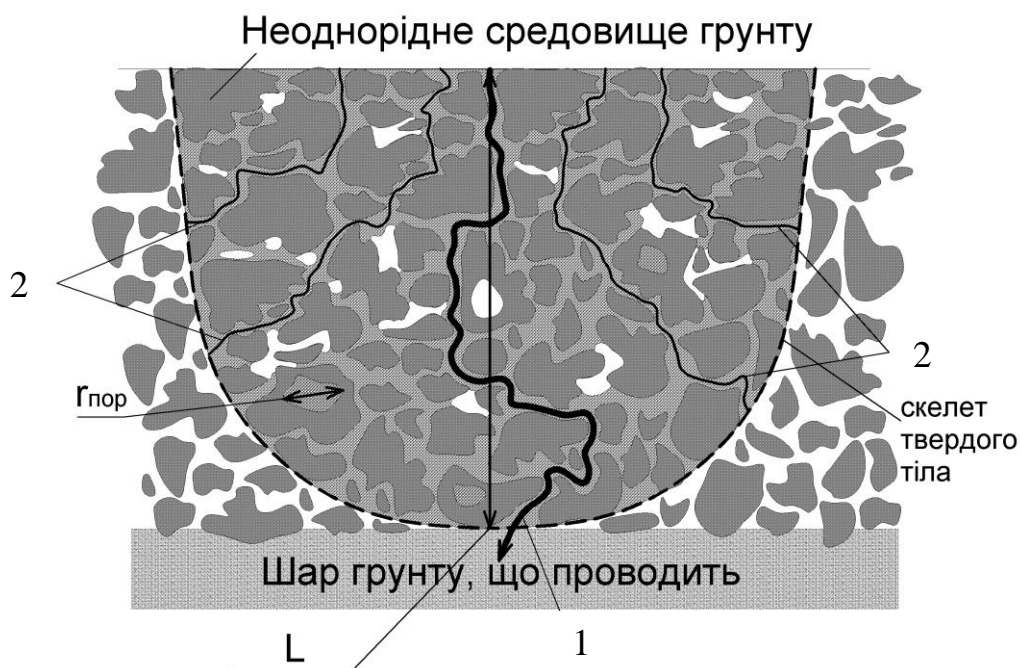


Рис. 1 Структура об'ємного електролітичного тіла

1- канал що сполучається з шаром ґрунту, що проводить, 2 – тупикові канали

Процес утворення каналів провідності шляхом з'єднання пор, що заповнені електролітом показаний на рис. 2

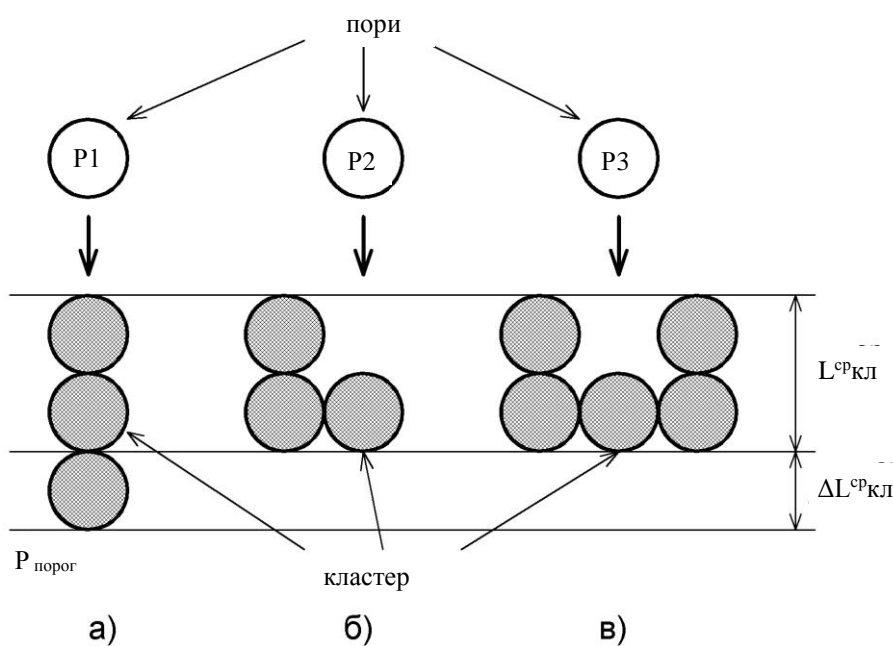


Рис. 2 Процес утворення каналів провідності

а) з'єднання пор, що призводить до збільшення довжини каналу провідності, б,в) з'єднання пор, що призводить до збільшення потужності кластеру без збільшення довжини каналу провідності

Сукупність каналів перколяції утворює в об'ємі електролітичного тіла кластер провідності параметри якого визначають електрофізичні параметри ПЕЗ. Аналіз структурних характеристик піщаних ґрунтів показав, що вони ма-

ють високу фільтраційну здатність при цьому електроліт знаходиться в зв'язаному стані, що обумовлює високу швидкість формування кластеру та тривалий час його стабільного стану. Перколяційний кластер утворюється по випадковому закону і виглядає як неврегульована система, проте він має внутрішній порядок, який характеризується фрактальними властивостями і виявляється поблизу порогу протікання x_c на певному обмеженому масштабі, який для завдання протікання електроліту через пористу структуру ґрунту обмежується мінімальними розмірами пори $r_{пор}$ і розмірами кластера, тобто масштаб вимірювання $r_{пор} < r < L_{кл}$. Значення порога перколяції залежить від структурних характеристик ґрунту і є деякою критичною концентрацією електроліту при якій хоча б один канал перколяції утвориться однозначно. Значення порогу перколяції для перколяційних моделей на основі кубічної решітки дорівнює 0,34. Для реальних умов поріг перколяції знаходиться навколо цього значення.

Провідність пористої структури середовища ґрунту визначається виразом

$$\sigma = f(x_c, L_{кл}), \quad (1)$$

де x_c - критична об'ємна концентрація електроліту в ґрунті, $L_{кл}$ - головний розмір кластеру провідності, м.

Згідно теорії перколяції структуру кластеру провідності можна змоделювати з елементів кубічної решітки (рис. 3) для якої визначені основні перколяційні коефіцієнти що мають ступеневий характер.

Перколяційний кластер по суті є прикладом випадкового статистичного фракталу, а отже має фрактальні властивості, тобто характеризується і визначається фрактальною розмірністю d_f .

Таким чином, фрактальна розмірність d_f перколяційно-фрактального кластеру електролітичного тіла ґрунту у фізичному електролітичному процесі залежить від з'єднання між собою пор заповнених молекулами електроліту та утворення таким чином провідних перколяційних каналів. Фрактальна розмірність перколяційного кластеру d_f не є постійною величиною, і залежить від вірогідності заповнення електролітом пор структури неоднорідного середовища ґрунту та дорівнює

$$d_f = \frac{\ln N_{пор}}{\ln n}, \quad (2)$$

де $N_{пор}$ - число пір, подібних до перколяційного кластеру, які мають в n раз менший просторовий масштаб – за умови, що з них можна скласти даний початковий перколяційний кластер.

В результаті дослідження зроблено припущення, що оскільки перколяційний кластер провідності є фрактальним об'єктом, то його розмірність $d_{фск}$ можна записати виразом

$$d_{фск} = d_3 - \frac{\beta_{ск}}{\nu}, \quad (3)$$

де $\beta_{ск}$ - критичний показник потужності перколяційного кластеру, ν - перколяційний індекс при d_3 дорівнює 0,88

Застосування чисельних методів дозволило встановити, що для об'ємного тіла, тобто при d_3 значення $\beta_{ск} = 0,4 \pm 0,14$

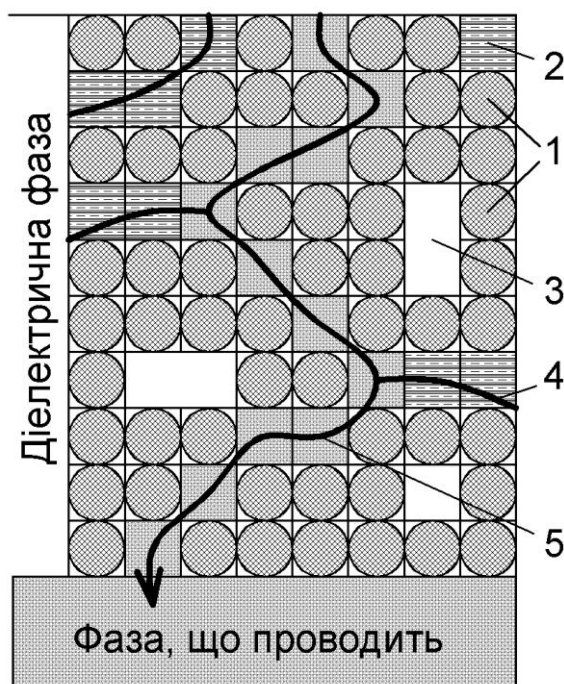


Рис. 3 Схема утворення каналу перколяції при протіканні електроліту крізь пористу структуру об'ємного тіла неоднорідного середовища ґрунту.
1 - тверді частки; 2 – окрема ізольована пора заповнена електролітом; 3 – вільний поровий простір ; 4 – тупикові канали; 5 – канал перколяції, що проводить.

На підставі розробленої перколяційно-фрактальної моделі розроблений метод визначення основних електрофізичних параметрів ПЕЗ. А саме опору та провідності перколяційного електролітичного кластеру, геометричних розмірів і форми сформованого в ґрунті об'ємного тіла та його структурно-фазових характеристик.

Визначення опору і провідності перколяційного електролітичного кластеру здійснене на основі розрахункової моделі сукупності ланцюжків електроліту які мають низький електричний опір та є каналами провідності (рис. 4)

Провідні канали, по яких здійснюється сполучення електроліту, є ланцюжками гідравлічно зв'язаних між собою порових каналів (капілярів) різного радіусу. Провідність ланцюжка визначатиметься найтоншим капіляром, тому його радіус є основою характеристикою ланцюжка.

Середня фазова провідність ланцюжка електроліту $k(\sigma_1)$ визначається величиною σ_1 . Знаючи функцію розподілу провідних ланцюжків $F(\sigma_1)$ по σ_1 , можна визначити загальну провідність нескінченного перколяційного кластеру як

$$\sigma_{кл} = \int_0^{\sigma_c} k(\sigma_1) F(\sigma_1) d\sigma_1. \quad (4)$$

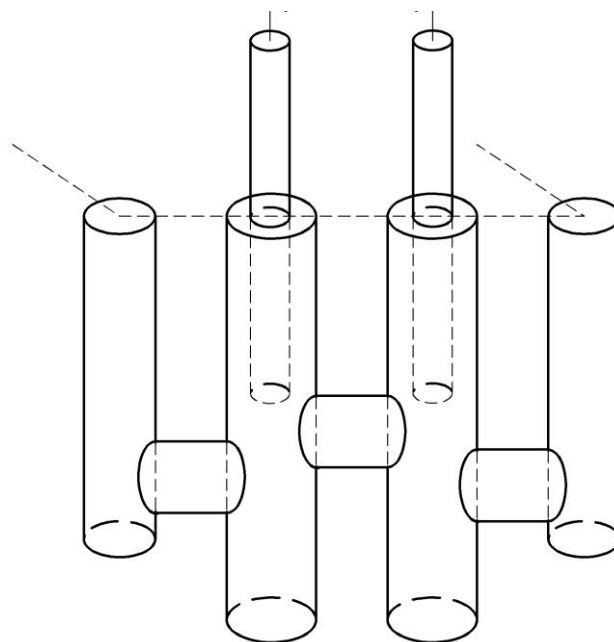


Рис. 4 Схема формування електролітичних ланцюжків

Виражаючи значення вірогідності провідності зв'язку окремих пір піщаного ґрунту через розмір кластеру $L_{кл}$ і поріг перколяції x_c формула (4) приймає вигляд критичних перколяційних залежностей і становить

$$\sigma_{кл} \propto L_{кл} (x - x_c)^{\Delta d_f}. \quad (5)$$

Таким чином, провідність визначається розміром перколяційного фрактального кластеру $L_{кл}$ і залежить від зміни фрактальної розмірності пористої структури неоднорідного середовища ґрунту на величину Δd_f при досягненні порогу перколяції x_c .

При насиченні об'єму порового простору піщаного ґрунту електролітом число провідних пір збільшується, а зайнятий ними об'єм прагне заповнити весь поровий простір ґрунту. Із збільшенням кількості провідних пір росте вірогідність їх з'єднання і утворення як мінімум одного провідного каналу (а в реальних умовах утворюється безліч каналів).

При цьому опір ґрунту в об'ємі кластеру провідності обмеженого елемента перетину з площею S визначається опором одного каналу і кількістю каналів, що створюють паралельні ланцюги і може бути визначено залежністю

$$R_{кл} = \frac{R_{1кан.екв}}{N_{кан.екв}}, \quad (6)$$

де $R_{1кан.екв}$ - еквівалентний питомий опір одного каналу, Ом; $N_{кан.екв}$ - число паралельних перколяційних каналів розміщених на елементі перетину перколяційного кластеру з площею S .

За умов, що провідність каналу, який сформований електролітом дорівнює провідності самого електроліту, а мінімальний переріз каналу провідності

дорівнює діаметру пори опір кластеру провідності може бути знайдений за підсумковою формулою

$$R_{кл} = \frac{\left(\rho_{эл} \cdot \frac{L}{\pi \cdot r^2}\right)^{d_3 + \xi_3 - d_{фкан}}}{\left(\frac{S}{\pi \cdot r^2}\right)^{d_{фплouc} - 1}}, \quad (7)$$

де L – осьова довжина каналу перколяції (яка не враховує звивистість і нерівномірність заповнення каналу електролітом), м; r – радіус структурного елемента кластера (пори), м; d_3 – розмірність евклідового простору, що дорівнює 3; ξ_3 – базовий показник звивистості, що дорівнює 1; $d_{фкан}$ – фрактальна розмірність простору в якому утворений канал перколяції; S – площа елемента перетину перколяційного кластеру, м²; $d_{фплouc}$ – фрактальна розмірність площі елемента перетину.

При визначенні опору кластера з геометричними розмірами $L=1$ м і $S=1$ м² отриманий опір може бути використаний як питомий опір ґрунту в об'ємі електролітичного кластера провідності.

$$R_{кл} \square \rho_{грунту}. \quad (8)$$

Також встановлена залежність головного розміра кластеру провідності від об'єму електроліту та структурних характеристик ґрунту і отримано аналітичний вираз для його розрахунку

$$L_{кл.} = 2r_{пор.} \left(\frac{3V_{эл.}}{4\pi r_{пор.}^3} \right)^{\frac{1}{d_f}} (м), \quad (9)$$

де $V_{ел}$ – об'єм електроліту, м³; d_f – фрактальна розмірність порового простору ґрунту.

З виразу (9) слідує, що розмір перколяційного кластеру $L_{кл}$ статечним чином залежить від об'єму електроліту $V_{эл}$. При цьому показник ступеня залежить від фрактальної розмірності d_f .

Таким чином, даний метод визначення електрофізичних параметрів, а саме загальній провідності кластеру $\sigma_{кл}$ і питомого опору $\rho_{грунту}$, заснований на фрактально-перколяційній моделі об'ємного електролітичного тіла, дозволяє виразити і зв'язати опір заземлення ПЕЗ з перколяційними параметрами структури піщаного ґрунту, а геометричні характеристики ($L_{кл}$, $r_{пор}$, S) з фрактальною розмірністю d_f .

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень з визначення електрофізичних параметрів електролітичних заземлювачів ПЕУ.

Обчислювальний експеримент дозволив отримати залежності основних електрофізичних величин ПЕЗ по мірі збільшення вмісту електроліту в об'ємному тілі ґрунту (рис. 5,6). Ці залежності показують, що зміна ступеню заповнення порового простору ґрунту призводить до зміни приросту фрактальної розмірності, що поблизу значення критичної концентрації електроліту в по-

ровому просторі ґрунту співпадає з якісними змінами омичного опору та провідності перколяційного кластеру.

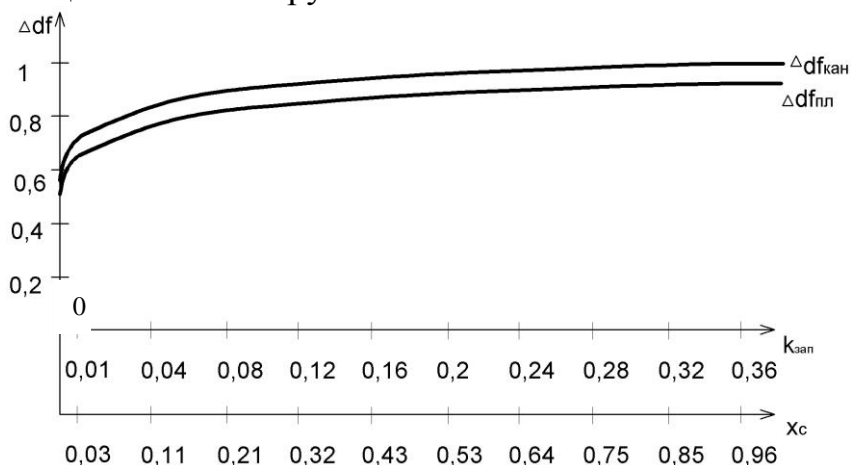


Рис. 5 Зміни фрактальних розмірностей каналу перколяції $\Delta df_{кан}$ та елементу перетину кластеру провідності $\Delta df_{пл}$ від об'ємної концентрації електроліту та коефіцієнту заповнення ґрунту електролітом,

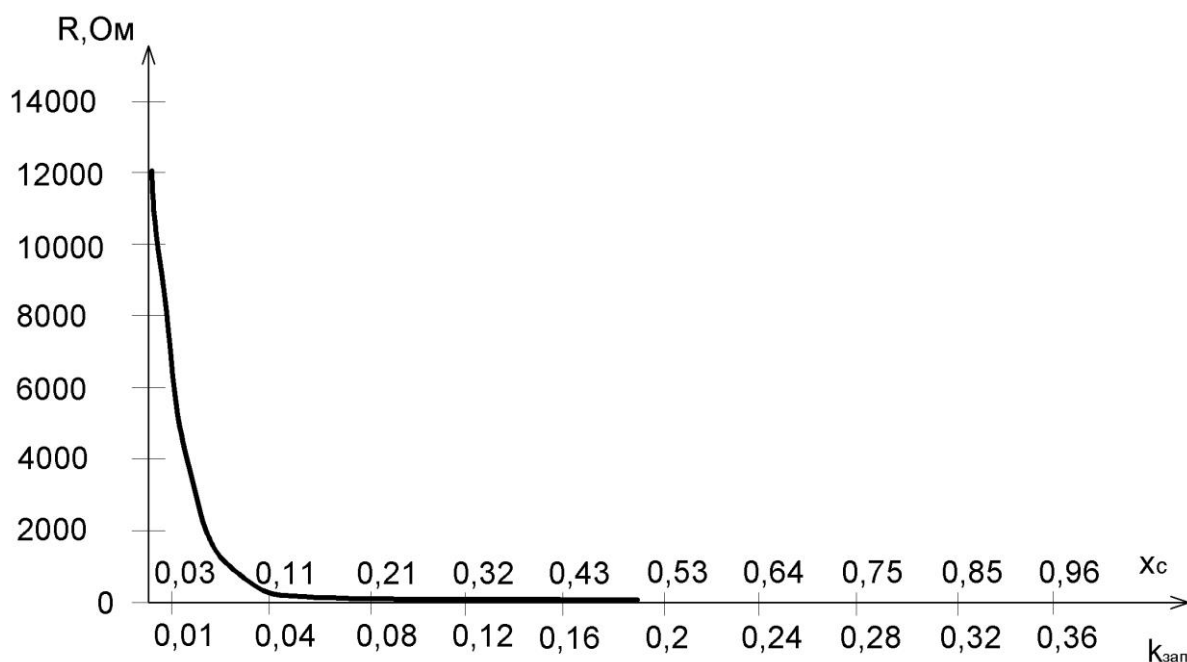


Рис. 6 Залежність опору кластеру перколяції від ступеню заповнення порового простору

Експериментально отримані характерні форми об'ємного електролітичного тіла що утворюється в сухому та вологому піщаному ґрунті при роботі ПЕЗ, та визначено, що утворене тіло має дві характерні області – область розподілу вологи та область осаду речовин електроліту в процесі фільтрації (рис. 7)

Апроксимація отриманих форм параболічною функцією методом найменших квадратів дозволила отримати характерні коефіцієнти, що з припустимою похибкою описують закон розподілу електроліту в ґрунті (табл. 1, рис.8) та геометричні характеристики об'ємного тіла електроліту в ґрунті.

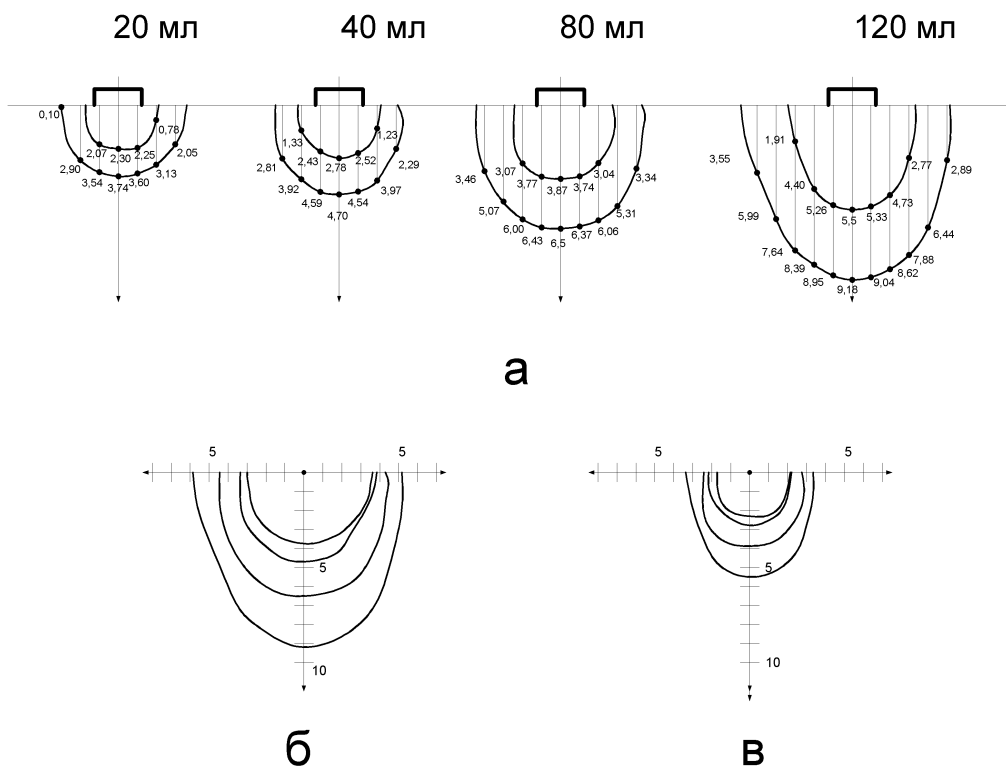


Рис. 7 Форми об'ємного тіла електроліту в ґрунті
 а – графічна обробка фото зрізів ґрунту, б – динаміка розподілу вологи, в – динаміка розподілу осаду речовин електроліту

Таблиця 1

Результати апроксимації форм кривих об'ємного тіла

Параметр			Вологий ґрунт			
			Об'єм електроліту, мл			
			20	40	80	120
Значення коефіцієнтів	Волога	a_0	-3,773	-4,976	-7,002	-9,64
	Продукти електроліту		-2,292	-2,707	-4,308	-5,705
	Волога	a_1	-0,106	0,025	-0,003	0,0013
	Продукти електроліту		-0,264	0,0039	0,0032	-0,055
	Волога	a_2	0,248	0,299	0,259	0,257
	Продукти електроліту		0,376	0,309	0,453	0,357
Об'єм тіла, см^3	Волога	V	104	126	296	567
	Продукти електроліту		31	37	64	150
Средньо-квадратична похибка	Волога	Абсолютна, см	0,48	0,24	0,47	0,46
	Продукти електроліту		0,35	0,14	0,4	0,25
	Волога	Відносна, %	2,5	0,9	0,98	0,6
	Продукти електроліту		4,7	1,4	2,3	0,8

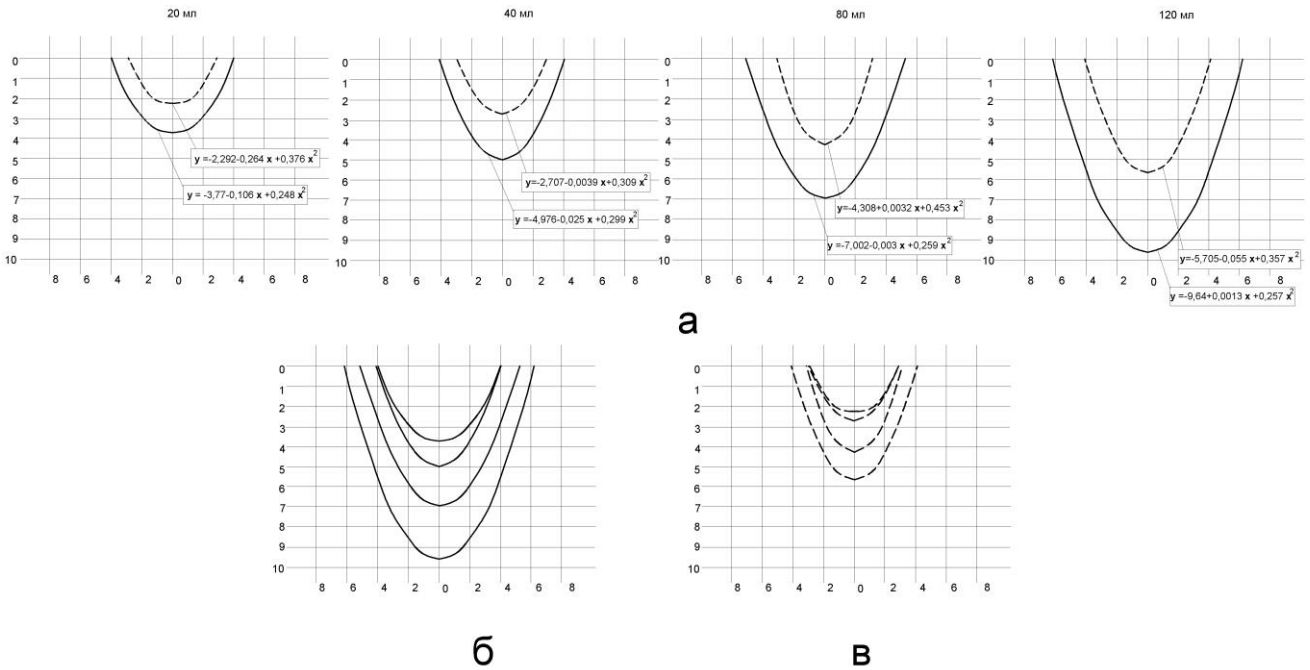


Рис. 8 Апроксимація кривих розподілу електроліту в ґрунті
 а – результати апроксимації кривих об'ємного тіла електроліту в ґрунті; б – динаміка розподілу вологи, в – динаміка розподілу області осаду речовин електроліту;

Для визначення електрофізичних параметрів електролітичного кластеру розроблена методика проведення експериментальних досліджень, спроектована на виготовлена лабораторна установка, схема якої представлена на рис.9.

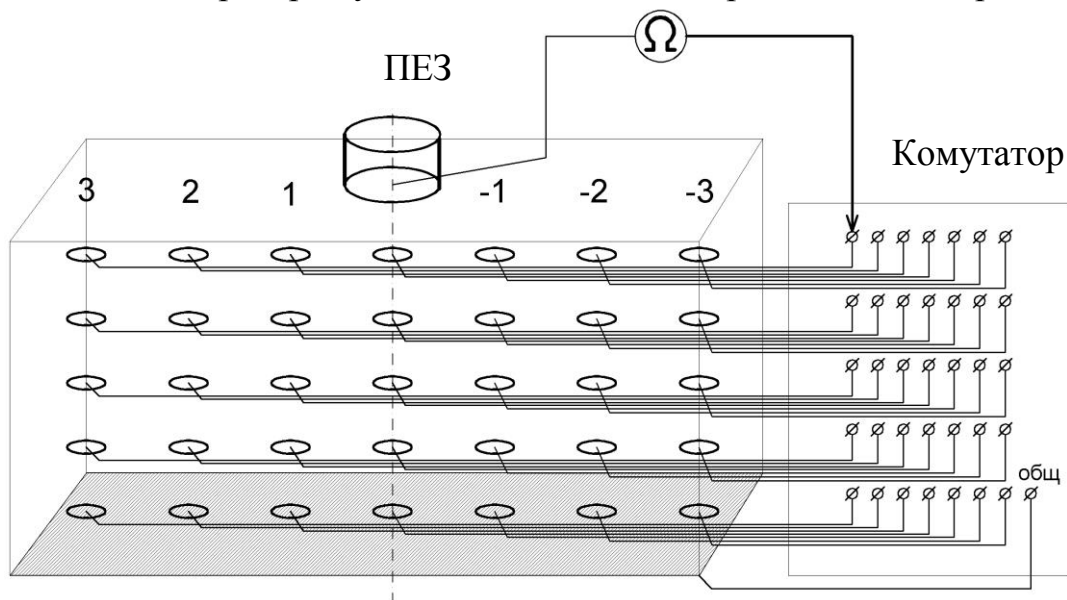


Рис. 9 Схема лабораторної установки та розкладки крапкових датчиків

Лабораторні дослідження дозволили отримати реальні залежності омичного опору ланцюгів «модель ПЕЗ - датчик» для пошарових та крапкових датчиків в ґрунтах різної структури та для різних електролітів. Криві зміни омичного опору мають три характерні зони (рис.10):

- зона початкового падіння омичного опору, яка обумовлена створенням надійного контакту «ПЕЗ - ґрунт» за рахунок змочування верхніх шарів ґрунту та подальшого зростання об'єму та поверхні електролітичного кластеру провідності. В межах цієї зони падіння омичного опору не призводить до надбання ґрунтом властивостей провідника;

- зона різкого падіння омичного опору, яка обумовлена створенням сукупності каналів перколяції, які з'єднують ПЕЗ з шарами доброї провідності. Межі цієї зони знаходяться поблизу значень порога перколяції та відповідають встановленню критичної концентрації електроліту в ґрунті.

- зона стабільно низького омичного опору, який практично не змінюється в залежності від об'ємної концентрації електроліту.

Польові випробування (вимірювання опору заземлення ПЕЗ методом амперметра - вольтметра), які проводилися на спеціально створеному повнорозмірному зразку ПЕЗ підтвердили результати теоретичних досліджень та лабораторних випробувань. Значне падіння омичного опору ПЕЗ співпадає з утворенням електролітичного кластеру провідності загальний об'єм якого визначає його головний лінійний розмір, який співпадає з глибиною залягання добре зволожених шарів піщаного ґрунту.

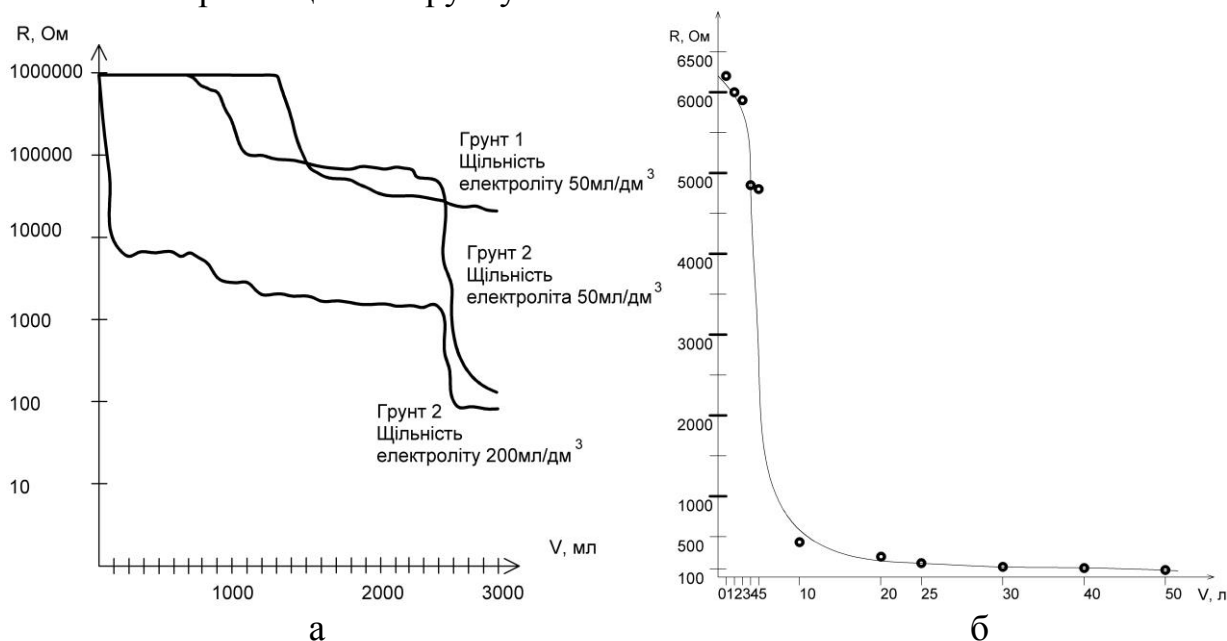


Рис. 10 Результати лабораторних досліджень та польових випробувань
 а - експериментальна залежність опору зразку ґрунту від об'єму використаного електроліту; б – залежність опору розтікання струму з ПЕЗ від об'єму електроліту (в польових випробуваннях)

Встановлено, що значення порогу перколяції (і різкого падіння омичного опору) практично не залежить від типу електроліту, а визначається структурою ґрунту.

Встановлена фрактальна розмірність системи електроліт - пісок (для піску фракції 0,07мм (рис. 11)) та визначено, що її зміна відображає ступінь однорідності (заповнення) порового простору піску та відповідає зміні об'ємної концентрації (рис. 12). Тому фрактальну розмірність можна представити у вигляді просторового масштабу ступеневої функції.

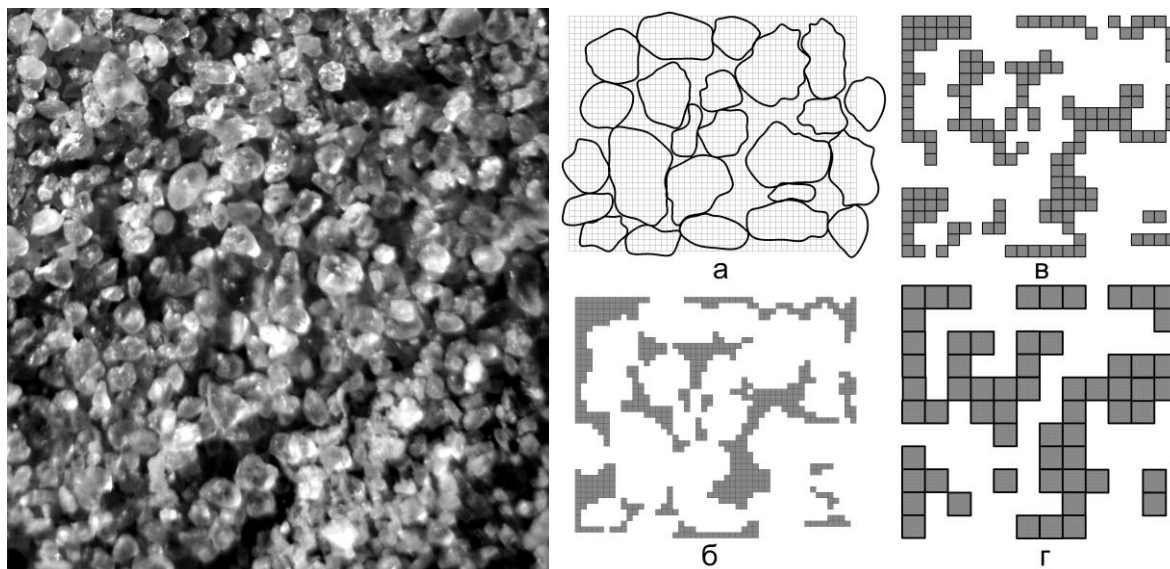


Рис.11 Визначення фрактальної розмірності піщаного ґрунту (фото фрагмента ґрунту, а) накладення базової сітки, б, в, г) фрактальні відображення фрагмента піску фракції 0,07 мм з розмірністю простору 1/11, 1/22, 1/44 відповідно.

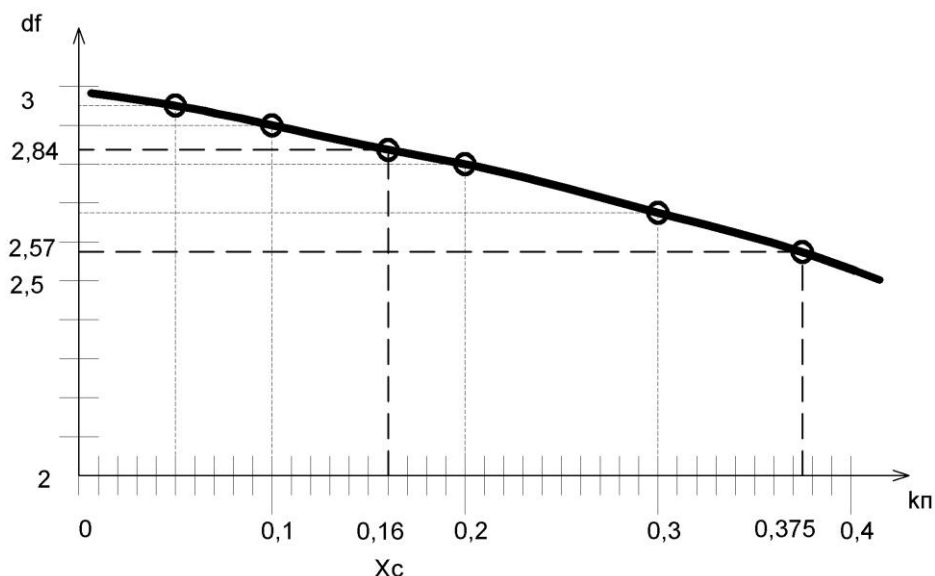


Рис. 12 Залежність зміни фрактальній розмірності від ступеня заповнення пір ґрунту електролітом

Четвертий розділ містить результати розробки практичних рекомендацій по поліпшенню експлуатаційних характеристик ПЕЗ.

Важливими експлуатаційними характеристиками роботи ПЕЗ є часу його готовності до роботи τ і час безперервної роботи без доливання електроліту T .

При цьому необхідно досягти найменшого τ і найбільшого T . Час готовності до роботи визначається часом формування електролітичного провідного кластеру і даний час може бути скорочений максимально швидким просочуванням електроліту в ґрунт. Час безперервної роботи ПЕЗ визначається витратою електроліту на подальшу підтримку необхідного об'єму кластеру і може бути збільшений мінімальною витратою електроліту. Для зменшення часу τ та збільшення часу T запропонована вдосконалена конструкція ПЕЗ (рис. 13). Регу-

лювання витрат електроліту здійснюється шляхом регулювання швидкості його фільтрації крізь пористу пробку дна. Тому в запропонованій конструкції ПЕЗ присутня мембрана 7, що регулюється та вставка, що герметизує 2 які виконують функцію підтримання заданого тиску у повітряній камері ПЕЗ 4. Монтажні рукоятки та різці дозволяють проводити монтаж ПЕЗ в піщаних ґрунтах швидко та без використання додаткового інструменту

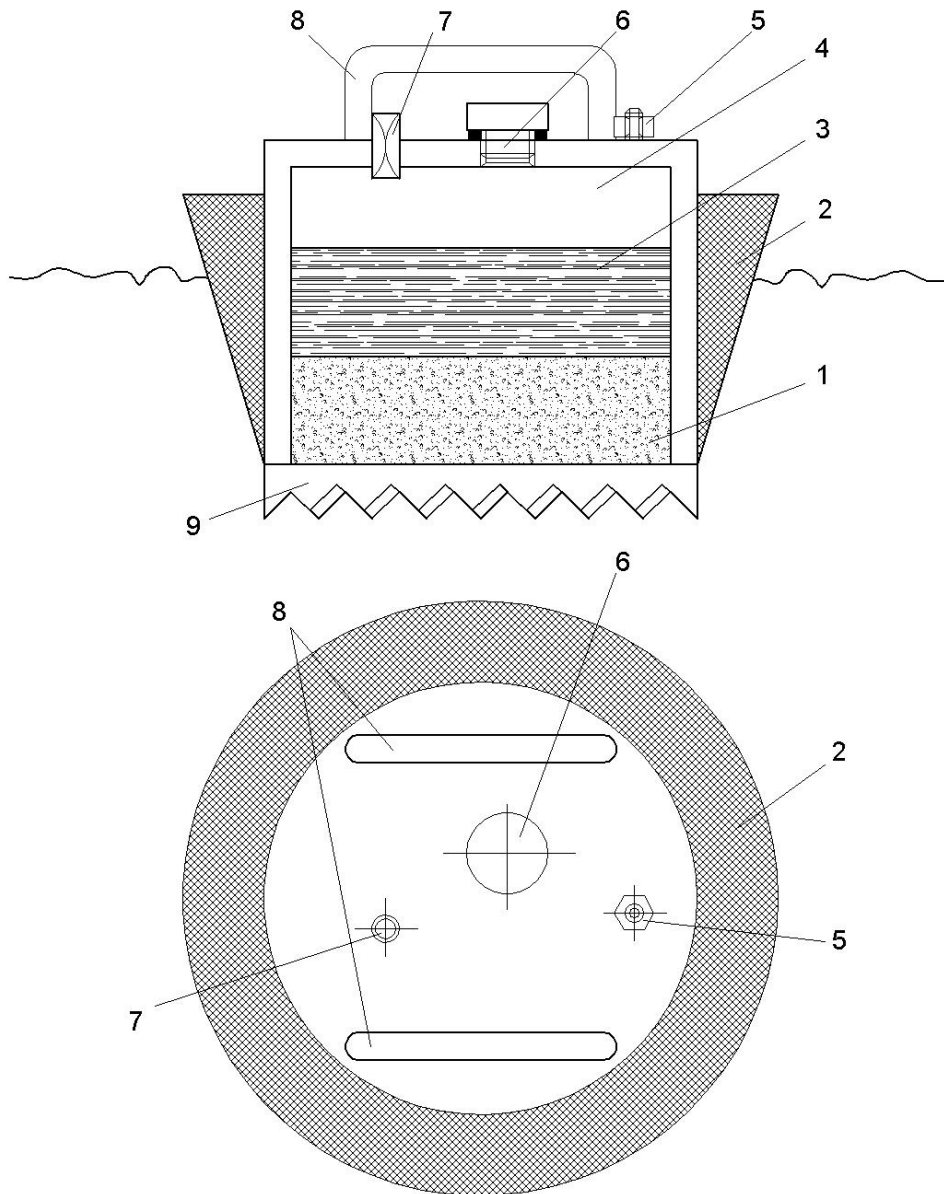


Рис. 13 Вдосконалена конструкція ПЕЗ

1 – пориста пробка, 2 – ізолююче-герметизуюча вставка, 3 – електроліт, 4 – повітряна камера, 5 – контактний затиск, 6 – заливний отвір з пробкою, 7 – мембрана, 8 – монтажні ручки-упори, 9 – монтажні різці

У додатках наведено результати експериментальних лабораторних досліджень та польових промислових випробувань, акти впровадження результатів дослідження в виробничий процес підприємств України та навчальний процес УПА

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу визначення електрофізичних параметрів поверхневих електролітичних заземлювачів пересувних електроустановок, які працюють у піщаних ґрунтах.

1. Аналіз фізичних процесів, що виникають в піщаному ґрунті, дозволив віднести електролітичний кластер провідності створений просоченням електроліту в ґрунт до багатофазних середовищ, що мають властивості провідності електричного струму однієї з фаз. Вказане середовище має властивості стохастичних дисипативних систем які можуть бути характеризовані фрактальною розмірністю

2. На підставі аналізу властивостей об'ємного тіла електроліту в ґрунті розроблена перколяційно-фрактальна модель, яка враховує зміни властивостей пористого середовища піщаного ґрунту при зміні його структури, що відображається приростом фрактальної розмірності пористого простору піщаного ґрунту. Побудована фізична модель дозволяє отримати аналітичні вирази з визначення електрофізичних параметрів поверхневих електролітичних заземлювачів.

3. Отримані аналітичні вирази з визначення значень наступних електрофізичних параметрів кластеру провідності поверхневого електролітичного заземлювача: опір розтіканню струму в ґрунті в місці заземлення поверхневого електролітичного заземлювача та питомий опір ґрунту в масиві об'ємного електролітичного тіла, провідність каналів перколяції та середня провідність кластеру, головний (найбільший) розмір кластеру провідності, геометричні характеристики структури каналів провідності, об'єм електролітичного тіла. Встановлені залежності між зміною структурно-фазових характеристик пористого простору піщаного ґрунту та електрофізичними параметрами поверхневого електролітичного заземлювача.

4. Проведений ряд експериментальних досліджень з визначення електрофізичних параметрів поверхневих електролітичних заземлювачів пересувних електроустановок. Дослідження проводилися на обчислювальній моделі, на фізичній натурній моделі у лабораторних умовах та у польових промислових випробуваннях на повно розмірному зразку ПЕЗ. Дослідження показали добру схожимість результатів експериментальних випробувань з теоретичними положеннями, що розроблені в роботі

5. Розроблені практичні заходи з підвищення експлуатаційних характеристик поверхневих електролітичних заземлювачів, що відображене в запропонованій вдосконаленій конструкції заземлювача, яка дозволить значно прискорити монтаж, зменшити трудовитрати та оптимізувати витрати електроліту під час роботи заземлювача.

6. Результати роботи впроваджено в виробничий процес АК «Харківобленерго» (м. Харків), ТОВ «Енергетик» (м. Харків), ТОВ «Мегаполіс+» (м. Харків) та в навчальний процес кафедр електроенергетики та охорони праці, стандартизації і сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чернюк А.М. Электролитические заземлители. Преимущества и перспективы использования / В.Г. Иванов, А.М. Чернюк // Энергетика та електрифікація, 2007, №5, С. 52-54

Здобувачем досліджені особливості роботи штатних систем заземлення пересувних електроустановок та запропонована модернізована конструкція поверхневого електролітичного заземлювача

2. Чернюк А.М. Обоснование исходных положений для исследования характеристик многослойной структуры «электролитический заземлитель - грунт» / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». Донецьк, 2010, Випуск 18(169) С. 166-171

3. Чернюк А.М. Определение формы объёмного тела электролита в грунте при работе переносных электролитических заземлителей/ Буданов П.Ф., Нечуйвітер О.П., Мезеря А.Ю., Чернюк А.М., Пархоменко Ю.А.// Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. Харків, ХУПС, 2012, Випуск 1(30) С. 131-134

Здобувачем здійснена постановка та проведення експериментальних досліджень у співавторстві проведена інтерпретація отриманих здобувачем результатів експерименту.

4. Чернюк А.М. Модель перколяції провідності процесу електролітичного заземлення/ Буданов П.Ф., Чернюк А.М. // Системи озброєння і військова техніка, Харків, ХУПС, 2012, Вип 2(30) С. 123-128

Здобувачем в співавторстві розроблена перколяційно - фрактальна модель процесу провідності неоднорідного пористого простору ґрунту в обсязі об'ємного електролітичного тіла.

5. Чернюк А.М. Розробка методу розрахунку опору електролітичного заземлення/ Буданов П.Ф., Чернюк А.М. // Системи озброєння і військова техніка Харків, ХУПС, 2012р. Вип 3(31) С. 121-125

Здобувачем в співавторстві отримані аналітичні вирази для визначення електрофізичних параметрів поверхневих електролітичних заземлювачів.

6. Чернюк А.М. Розробка методу розрахунку опору електролітичного заземлення/ Буданов П.Ф., Чернюк А.М. // Системи озброєння і військова техніка Харків, ХУПС, 2012р. Вип 4(32) С. 76-81

Здобувачем в співавторстві визначені фрактальні властивості перколяційної моделі електролітичного заземлення..

7. Пат. 46648, Україна, МПК H02B 1/00 Переносний електролітичний заземлювач/ Артюх С.Ф., Иванов В.Г., Мезеря А.Ю., Чернюк А.М., Колобродов С.О. Власник Українська інженерно-педагогічна академія №U200908404 заявл. 10.08.2009 опубл. 25.12.2009 Бюл. № 24

Здобувачем запропоновано використання ізолююче - герметизуючої вставки, що дозволить поліпшити точність регулювання швидкості фільтрації електроліту крізь пористу пробку ПЕЗ.

8. Чернюк А.М. Анализ характеристик многослойной структуры «электролитический заземлитель – грунт» / збірник наукових праць X – міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих»: в м. Донецьку 18-20 травня 2010 р., - Донецьк, ДонНТУ, 2010р. С. 203-205

9. Чернюк А.М. Постановка экспериментальных исследований по определению характеристик работы электролитического заземлителя. / Сборник тезисов 2-ой Международной научно-практической конференции «Качество технологий – качество жизни» (15-19 сентября г. Судак, Украина) 2010р. – Харків, УПА 2010р. С. 82-84

10. Чернюк А.М. Визначення форми об'ємного тіла електроліту в ґрунті при роботі переносних електролітичних заземлювачів / Буданов П.Ф., Чернюк А.М. // Восьма наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. І.Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей, – Харків.: ХУПС ім. І. Кожедуба 2012, 18-19 квітня, С. 341

Здобувачем поставлені та проведені експериментальні дослідження з визначення форми об'ємного тіла електроліту в ґрунті.

11. Чернюк А.М. Разработка метода расчёта электролитического заземления / Буданов П.Ф., Чернюк А.М. // «Актуальні задачі сучасних технологій»: збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів 19-20 грудня 2012р., м. Тернопіль – Тернопіль, Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. С. 243

Здобувачем в співавторстві розроблений метод розрахунку електрофізичних параметрів ПЕЗ в залежності від розходу електроліту, його типу та геометричних параметрів об'ємного електролітичного тіла та структурних елементів ґрунту.

АНОТАЦІЇ

Чернюк А.М. Визначення електрофізичних параметрів електролітичних заземлюючих пристроїв пересувних електроустановок в піщаних ґрунтах. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, 2013

Дисертація присвячена розробці методу визначення опору електролітичних заземлювачів на основі опису процесу електролітичного заземлення в неоднорідних піщаних ґрунтах.

Визначені особливості роботи поверхневих електролітичних заземлень і методів визначення їх електрофізичних параметрів. Аналіз властивостей пористого багатофазного середовища піщаного ґрунту показав, що побудова моделі електролітичного заземлення можлива на основі перколяційної теорії.

Побудована перколяційна модель електролітичного заземлення в піщаних ґрунтах. Встановлено, що структура багатофазного піщаного ґрунту може бути описана фрактальною розмірністю неоднорідного простору.

На підставі розробленої моделі отримані нові аналітичні вирази для визначення електрофізичних параметрів ПЕЗ.

Експериментально отримані дані про електрофізичні параметри ПЕЗ при структурно фазових змінах в ґрунті.

Розроблені практичні заходи щодо поліпшення експлуатаційних характеристик ПЕЗ

Ключові слова: системи захисту електричних мереж, удосконалення електроустаткування, ефективність експлуатації, електролітичне заземлення, перколяція, фрактальна геометрія, опір заземлення.

Чернюк А.М. Определение электрофизических параметров электролитических заземляющих устройств передвижных электроустановок в песчаных грунтах. На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы. Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена разработке метода определения сопротивления электролитических заземлителей на основе описания процесса электролитического заземления в неоднородных песчаных грунтах, которые имеют перколяционные и фрактальные свойства с учетом структурно фазовых характеристик пространства, в котором формируется объемное электролитическое тело.

На основании анализа методов заземления передвижных электроустановок и расчета их электрофизических параметров определены особенности работы поверхностных электролитических заземлений и определения их электрофизических параметров. Установлено, что электрофизические параметры ПЕЗ главным образом зависят от параметров объемного электролитического тела образующегося в грунте при просачивании электролита. Проведен анализ свойств пористой многофазной среды песчаного грунта пропитанного электролитом. Осуществлен анализ возможных моделей описания процессов растекания электрического тока в пористых средах и определено, что построение модели электролитического заземления возможно на основе перколяционной теории.

Построена перколяционная модель электролитического заземления в песчаных грунтах учитывающая структурно-фазовые изменения пористого пространства характерного для песчаного грунта при пропитке его электролитом. В соответствии с этой моделью средой проводимости почвы являются каналы проводимости (перколяции) совокупность которых формирует общий электролитический кластер проводимости почвы. Установлено, что структура многофазной песчаной почвы имеет стохастическую природу и обладает фрактальными свойствами, следовательно может характеризовать фрактальной размерностью, которая отображает статистическое самоподобие и степень неоднородности пространства.

На основании разработанной модели получены новые аналитические выражения для определения электрофизических параметров ПЭЗ, с помощью которых возможно рассчитать сопротивление ПЭЗ на основании данных о структурных характеристиках грунта и свойствах электролита. Теоретически обос-

нованы эмпирические коэффициенты, используемые при расчёте удельных сопротивлений песчаных грунтов.

Осуществлен ряд экспериментальных исследований в лабораторных условиях и полевых промышленных испытаниях, а также вычислительный эксперимент. Получены экспериментальные данные об электрофизических параметрах ПЭЗ при структурно фазовых изменениях электролитического кластера проводимости.

Предложена практическая реализация принципа электролитического заземления передвижных электроустановок и теоретического расчёта электрофизических параметров системы ПЭЗ – песчаный грунт.

Разработаны практические мероприятия по улучшению эксплуатационных характеристик ПЭЗ и оптимизации расхода электролита при их работе.

Ключевые слова: системы защиты электрических сетей, усовершенствование электрооборудования, эффективность эксплуатации, электролитические заземлители, перколяция, фрактальная геометрия, сопротивление заземления.

Chernuk A.M. The characterization of electro physical parameters of electrical grounding devices of mobile electric lines in the sandy soils. As manuscript.

The thesis is submitted to academic degree of technical science candidate of Ukrainian Engineering-Pedagogical Academy (Kharkov, 2013) with specialty of electric stations, nets and systems.

The thesis is about development of the identification method of electric grounding devices conduction and resistance on the basis of the electric grounding description in heterogeneous sandy soils.

The characterizing features of surface electric groundings (SEG) and the methods for electric parameters determination were generated. Analysis of the qualities of porous multiphase sandy soils demonstrated that the model construction of electric grounding could be on the basis of the percolating theory.

The percolating model of electric grounding in sandy soils was constructed. It has been established that the structure of the multiphase sandy soil can be characterized by fractal dimension of heterogeneous area.

The new analytic expressions for characterizing of electro physical parameters of SEG were found on basis of the developed model.

The results of electro physical parameters of SEG were obtained experimentally by structural and phase changes in the ground.

The practical measures of improving working characteristics of SEG were developed.

Key words: modeling of protection systems, improvement of electric systems, and efficiency of operation, electric grounding, percolation, fractal geometry, and resistance of grounding.

Отпечатано в типографии ООО «Цифра Принт»
на цифровом лазерном комплексе Xerox DocuTech 6135.

Свидетельство о Государственной регистрации

А01 № 432705 от 3.08.2009 г.

Адрес : г. Харьков, ул. Культуры, 22-Б. Телефон : (057) 7861860.

Тираж 100 экз.

Віддруковано в друкарні ТОВ «Цифра принт»
на цифровому лазерному комплексі Xerox DocuTech 6135.

Свідотство про Державну реєстрацію

А01 № 432705 від 3.08.2009 г.

Адреса: м. Харків, вул. Культури, 22-Б. Телефон (057) 7861860.

Наклад 100 прим.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



ЧЕРНЮК АРТЕМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.316.953:621.04.8

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ
ЗАЕМЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПЕРЕСУВНИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК В
ПІЩАНИХ ГРУНТАХ

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Буданов Павло Феофанович,
Українська інженерно-педагогічна академія,
доцент кафедри електроенергетики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Баранов Михайло Іванович,
Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут
«Молнія» Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
головний науковий співробітник

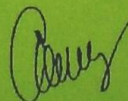
кандидат технічних наук, доцент
Рубаненко Олександр Євгенович,
Вінницький національний
технічний університет, м. Вінниця,
Інститут електроенергетики та електромеханіки,
доцент кафедри електричних станцій і систем

Захист відбудеться «17» жовтня 20 13 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «14» вересня 20 13 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Шевченко С.Ю.

На основании разработанной модели получены новые аналитические выражения для определения электрофизических параметров ПЭЗ, с помощью которых возможно рассчитать сопротивление ПЭЗ на основании данных о структурных характеристиках грунта и свойствах электролита. Теоретически обоснованы эмпирические коэффициенты, используемые при расчёте удельных сопротивлений песчаных грунтов.

Осуществлен ряд экспериментальных исследований в лабораторных условиях и полевых промышленных испытаниях, а также вычислительный эксперимент. Получены экспериментальные данные об электрофизических параметрах ПЭЗ при структурно фазовых изменениях электролитического кластера проводимости.

Предложена практическая реализация принципа электролитического заземления передвижных электроустановок и теоретического расчёта электрофизических параметров системы ПЭЗ – песчаный грунт.

Разработаны практические мероприятия по улучшению эксплуатационных характеристик ПЭЗ и оптимизации расхода электролита при их работе.

Ключевые слова: моделирование систем защиты, усовершенствование электрооборудования, эффективность эксплуатации, электролитические заземлители, перколяция, фрактальная геометрия, сопротивление заземления.

Chernuk A.M. The characterization of electro physical parameters of electrical grounding devices of mobile electric lines in the sandy soils. As manuscript.

The thesis is submitted to academic degree of technical science candidate of Ukrainian Engineering-Pedagogical Academy (Kharkov, 2013) with specialty of electric stations, nets and systems.

The thesis is about development of the identification method of electric grounding devices conduction and resistance on the basis of the electric grounding description in heterogeneous sandy soils.

The characterizing features of surface electric groundings (SEG) and the methods for electric parameters determination were generated. Analysis of the qualities of porous multiphase sandy soils demonstrated that the model construction of electric grounding could be on the basis of the percolating theory.

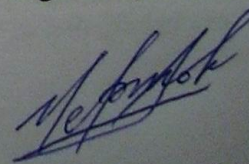
The percolating model of electric grounding in sandy soils was constructed. It has been established that the structure of the multiphase sandy soil can be characterized by fractal dimension of heterogeneous area.

The new analytic expressions for characterizing of electro physical parameters of SEG were found on basis of the developed model.

The results of electro physical parameters of SEG were obtained experimentally by structural and phase changes in the ground.

The practical measures of improving working characteristics of SEG were developed.

Key words: modeling of protection systems, improvement of electric systems, and efficiency of operation, electric grounding, percolation, fractal geometry, and resistance of grounding.



Отпечатано в типографии ООО «Цифра Принт»
на цифровом лазерном комплексе Xerox DocuTech 6135.
Свидетельство о Государственной регистрации
А01 № 432705 от 3.08.2009 г.
Адрес : г. Харьков, ул. Культуры, 22-Б. Телефон : (057) 7861860.
Тираж 100 экз.

Віддруковано в друкарні ТОВ «Цифра принт»
на цифровому лазерному комплексі Xerox DocuTech 6135.
Свідотство про Державну реєстрацію
А01 № 432705 від 3.08.2009 г.
Адреса: м. Харків, вул. Культури, 22-Б. Телефон (057) 7861860.
Наклад 100 прим.