

УДК 621.316.027

**А.М. Чернюк**

Українська інженерно-педагогічна академія г. Харків

E-mail: mail-korpus1@yandex.ua

**ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ «ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЙ  
ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ - ГРУНТ»****Аннотация**

*Чернюк А.М. Обоснование исходных положений для исследования характеристик многослойной структуры „электролитический заземлитель – грунт” На основании анализа существующих конструктивных решений и характеристик ветрогенераторов, ветроэнергетических установок в целом рассмотрены вопросы выбора вида генератора, конструкции механической части ветряной установки. Рассмотрены особенности управления, работы, недостатки и преимущества различных генераторов, ветротурбин различных конструкций.*

**Ключевые слова:** передвижные электроустановки, электролитические заземлители, пористый электрод.

**Постановка проблемы.** Опыт эксплуатации передвижных электроустановок свидетельствует о наличии ряда факторов, усложняющих выполнение требований по электробезопасности. К числу таких факторов могут быть отнесены: более высокая вероятность механических повреждений кабельных линий; большое количество силовых контактных соединений (кабельных муфт и разъёмов), более высокая уязвимость изоляции электрооборудования действию атмосферных осадков.

Вследствие ухудшения изоляции под потенциалом фазного напряжения оказывается корпус электроустановки, что представляет опасность смертельного электропоражения персонала. Этим обусловлена необходимость обязательного применения защитных заземляющих устройств. Применительно к условиям эксплуатации передвижных электроустановок предусмотрены специальные конструкции заземляющих устройств, главной особенностью которых является наличие искусственного заземлителя. Он, преимущественно, представляет собой совокупность неизолированных проводников (обычно стальных) погруженных в землю.

**Постановка задач исследования.** Опыт эксплуатации таких устройств выявил ряд их существенных недостатков: невозможность обеспечения нормируемого сопротивления заземления; коррозия элементов заземлителей; высокие трудозатраты на монтаж и демонтаж устройств заземления, малый срок службы заземлителей в результате механических повреждений в процессе монтажа – демонтажа [1].

В то же время, приемлемым альтернативным техническим решением может служить электролитический заземлитель (ЭЛЗ), обеспечивающий электрохимический контакт с грунтом посредством диффузии электролита через поры пробки в нижнем торце заземлителя [2].

Анализ источников позволяет сделать вывод о том, что авторами обоснована приемлемая конструкция электролитического заземлителя, в то время, как в отношении свойств его многослойной структуры и установлении технических характеристик приведены только общие умозаключения. Поэтому, целью настоящей работы является анализ характеристик многослойной структуры объекта «электролитический заземлитель – грунт».

**Решение задач и результаты исследований.**

Конструкция электролитического заземлителя представлена на рис.1.

В контакте с землёй он образует многослойную структуру, пропитанную электролитом (рис. 2).

Данная структура содержит три слоя: электролит в полости ЭЛЗ (1), пористую подошву, пропитанную электролитом (2), и верхний слой почвы (3).

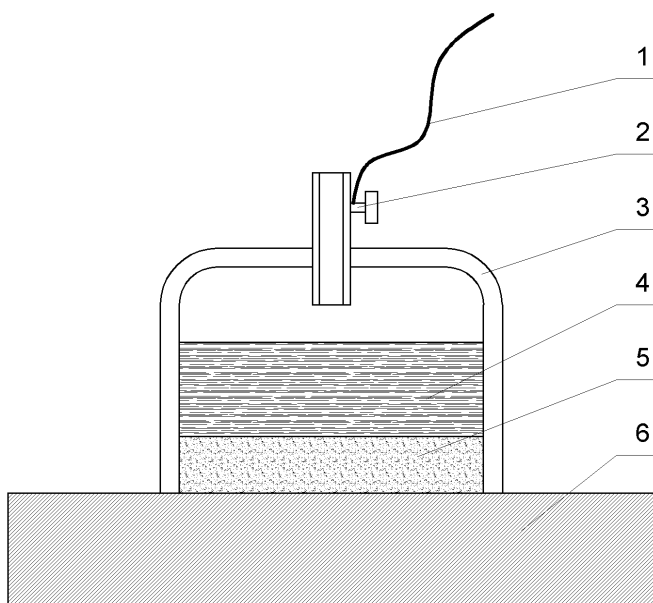


Рисунок 1 - Конструкция электролитического заземлителя

1 – заземляющий проводник, 2 – контактный зажим, 3 – корпус заземлителя (проводящий металл), 4 – электролит, 5 – пористая пробка 6 – земля

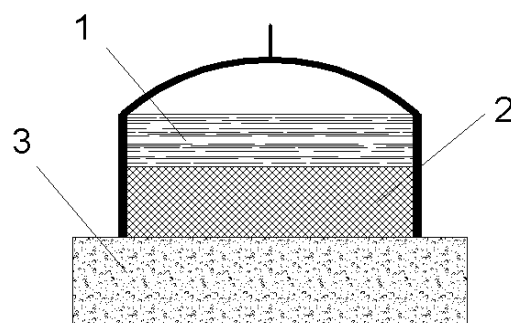


Рисунок 2 - Структура электролитического заземлителя - грунт

Надежный контакт и малое электрическое сопротивление данной цепи обеспечивается за счет развитой внутренней поверхности пористой подошвы. Данная её структура обеспечивает высокую эффективность электрохимического процесса вследствие возможности протекания процесса при больших токах в области малых поляризаций. Пористую подошву ЭЛЗ и верхний слой земли можно рассматривать как жидкостный диффузный пористый электрод. В электродах такого типа все поры заполнены жидкостью, в которой растворены реагирующие вещества электролита. Подвод этих веществ к стенкам пор осуществляется путём их диффузии или в результате действия фильтрационного потока всей жидкости.

В данном случае, подошву ЭЛЗ можно рассматривать как инертный электрод, т.к. материал электрода не участвует в реакции, а служит катализатором и токоотводом (для отвода или подачи электронов).

Продолжительность функционирования такого электрода может быть, в принципе, неограниченной при условии обеспечения постоянного подвода реагирующих веществ и отвода продуктов реакции при допущении, что отсутствует загрязнение поверхности электрода, постепенное накопление загрязнений, содержащихся в растворе.

Важнейшими характеристиками скорости электрохимического процесса в ЭЛЗ являются:

- плотность тока  $i$  – величина электрического тока, проходящего через данный электрод, отнесённая к единице к единице поверхности контакта металла с раствором электролита;

- габаритная плотность тока  $I$  – плотность тока, проходящего через пористый электрод, отнесённая к единице внешней поверхности электрода без учёта её пористости или шероховатости;

- истинная поверхность пористого электрода  $S$  - общая поверхность контакта металла с жидкостью, на которой может протекать электрохимическая реакция;

- удельная поверхность электрода  $s$  - важнейшая структурная характеристика пористого электрода, которая равна величине истинной поверхности в единице объёма пористого электрода;

- относительная поверхность (фактор шероховатости)  $\gamma$ , которая представляет собой отношение истинной поверхности электрода к габаритной поверхности :

$$\gamma = S / S_{габ} \quad (1)$$

Относительная поверхность характеризует степень увеличения рабочей зоны, достигнутого за счёт применения пористого электрода.

Рассмотрим односторонне работающий пористый электрод с толщиной  $L$  и величиной относительной поверхности  $s$ . Тогда фактор шероховатости будет определяться соотношением:

$$\gamma = sL \quad (2)$$

В простейшем случае использование пористого электрода (ПЭ) с относительной поверхностью  $\gamma$  приводит, при прочих равных условиях, к увеличению габаритной плотности тока в  $\gamma$  раз по сравнению с гладким электродом.

Это означает, что вся внутренняя поверхность работает равномерно и истинная плотность тока на всех её участках равна плотности тока  $i^0$ , которая при данных условиях установилась бы на гладком электроде.

Опыт использования жидкостных ПЭ показывает, что чаще всего габаритная плотность тока меньше максимальной возможной величины, что соответствует соотношению:

$$I = h\gamma i^0 = hsLi^0 \quad (3)$$

где  $h$  – коэффициент эффективности использования ПЭ, ( $0 < h < 1$ ).

Снижение эффективности использования ПЭ может быть обусловлено следующими причинами:

- для раствора, находящегося в порах электрода, замедление процессов переноса (затрудняется диффузия по сравнению с диффузией в свободном растворе из-за уменьшения общего сечения поверхности раствора и из-за извилистости пор). При этом почти полностью прекращается естественная конвекция жидкости.

Поэтому при включении тока (начало протекания электрохимической реакции) потребление реагирующих молекул в порах не будет полностью компенсироваться транспортными процессами; вследствие этого концентрации этих веществ в порах будут уменьшаться, что в свою очередь приведёт к увеличению скорости подвода путём диффузии.

В итоге, установится новое стационарное состояние, при котором скорости реакции и подвода будут одинаковыми, а стационарная концентрация реагирующих веществ в объёме раствора или у наружной поверхности электрода приведет к её неравномерному распределению.

- электрический ток переносится в металлической фазе электронами, а в растворе – ионами. При использовании ПЭ наблюдается повышение сопротивления, приводящее к неравномерному распределению потенциала по электроду. Повышение сопротивления наблюдается чаще всего при переносе тока через раствор электролита в порах электрода, где эффективная проводимость электролита ниже, чем в свободном электролите.

В ряде случаев наблюдается омическое падение потенциала в металлической фазе из-за рыхлого строения ПЭ и из-за контактных сопротивлений между отдельными металлическими зернами, составляющими ПЭ. Неравномерность концентрации реагирующих веществ и потенциала в ПЭ приводит к неравномерному распределению плотности тока по его внутренней поверхности.

Как видно из рисунка 3, если подвод реагирующих веществ осуществляется со стороны фронтальной поверхности электрода, то в наиболее выгодных условиях находятся участки вблизи фронтальной поверхности, так как в отношении них сопротивления диффузионным процессам и омические падения потенциала минимальны; плотность тока на этих участках приближается к  $i^0$ .

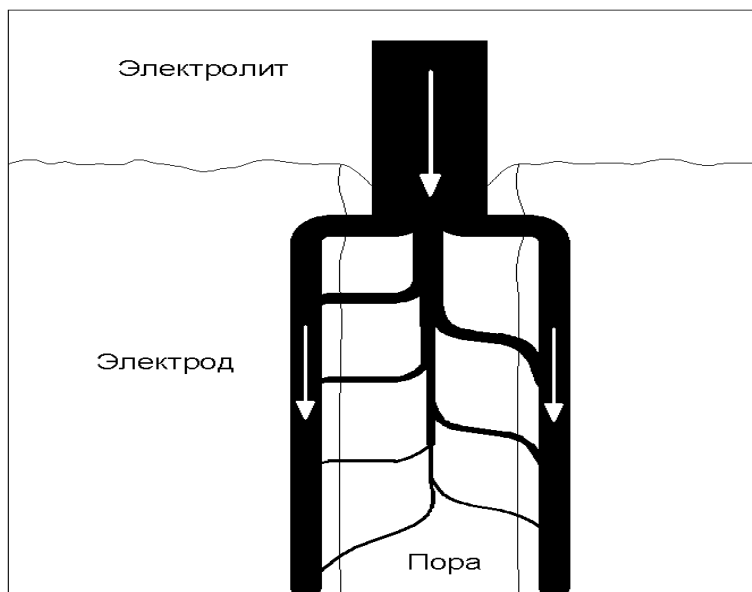


Рисунок 3 - Схема распределения тока в пористом электроде

По мере удаления вглубь электрода влияние этих факторов усиливается, что приводит к снижению плотности тока. Уменьшение плотности тока во внутренних участках электрода равносильно уменьшению их вклада в суммарный ток, проходящий через электрод, т.е. равносильно уменьшению коэффициента эффективности работы ПЭ.

Таким образом, по мере роста общего тока и поляризации коэффициент эффективности использования ПЭ уменьшается.

При большом значении общего тока через ПЭ неравномерность его распределения может стать настолько большой, что практически весь ток будет сосредоточен только на внешней поверхности электрода, т.е. весь электрохимический процесс будет происходить на внешней поверхности («эффект вытеснения тока»).

Для исследования процесса работы ПЭ «ЭЛЗ – грунт» следует принять ряд начальных условий, а именно:

- интенсивность процесса изменяется только в направлении, нормальном к наружной поверхности пластины;
- толщина пластины достаточно велика, и интенсивность процесса постепенно затухает до нуля с увеличением глубины;
- ПЭ рассматривается как псевдогомогенная среда, свойства которой определяются соответствующими эффективными коэффициентами, что приемлемо, если размеры струк-

турных элементов (пор, зерен) достаточно малы по сравнению с масштабами распространения интенсивности процесса вглубь электрода [3];

- во всем объёме ПЭ поддерживается одинаковая концентрация всех компонентов реакции;

- проводимость металлической основы ПЭ бесконечно велика.

С учетом названных условий работа ПЭ может быть описана следующей системой уравнений:

$$I = -\psi_t \frac{d\varphi}{dx}; \tag{4}$$

$$i_v = -\frac{dI}{dx} = \psi_K f(\varphi), \tag{5}$$

где  $I$  – плотность тока, проходящего по электролиту, находящемуся в порах, через сечение, параллельное внешней поверхности;  $i_v$  - действительная объёмная плотность тока;  $\varphi$  - потенциал электрода;  $\psi_K$  - эффективный коэффициент кинетической проводимости;  $\psi_t$  - эффективный коэффициент проводимости электролита в порах. Из уравнений (4) и (5) получим:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{\psi_K}{\psi_t} f(\varphi) \tag{6}$$

Соотношение  $\sqrt{\frac{\psi_K}{\psi_t}} = x_e$  имеет размерность длины и может служить естественным масштабом.

Введя безразмерную координату  $X = \frac{x}{x_e}$ , из уравнения (6) получим:

$$\frac{d^2\varphi}{dX^2} = f(\varphi) \tag{7}$$

Производительность ПЭ определяется габаритной плотностью тока  $I_X$ . Из уравнений (4) и (5) при граничном условии  $I=0$  и при  $x \rightarrow \infty$  получим соотношение для производительности электрода:

$$I_X = \sqrt{2\psi_K\psi_t \int_{\varphi^\infty}^{\varphi^x} f(\varphi)d\varphi} \tag{8}$$

Таким образом, зависимостями (4-8) описываются основные параметры пористого электрода при использовании его в системе «электролитический заземлитель – грунт», что позволяет моделировать процессы с целью определения функциональных возможностей ПЭ различных конструкций.

**Выводы.**

Применительно к известным разработкам в части применения пористого электрода как элемента системы «электролитический заземлитель – грунт» обоснованы математические зависимости, позволяющие процессы в системе средствами математического и компьютерного моделирования применительно к различным конструкциям пористых электродов.

Направлением последующих исследований является комплекс работ по оптимизации параметров ЭЛЗ, в частности, анализ:

- геометрических размеров ЭЛЗ и их конструкции;

- свойств материала и структуры пористой подошвы ЭЛЗ;
- зависимости параметров ПЭ от типа и концентрации электролита в ЭЛЗ;
- возможности обеспечения необходимой скорости фильтрации электролита в грунт (для различных грунтов).

### Литература

1. Иванов В.Г., Чернюк А.М. Электролитические заземлители. Преимущества и перспективы использования. //Энергетика и электрификация, № 6, 2007. с. 23-29
2. А.с. 964803 СССР, МКИ<sup>3</sup>. / Переносной заземлитель / Ляпунов Р.А., Сапига Н.Н., Иванов В.Г. и др. (СССР).- № заявки опубл. 11.03.1981г. Бюл № 3
3. Зельдович И.А. К теории реакции на пористом или порошкообразном материале. – //Журнал физической химии, Издательство 1939, т. 13, № 2, с. 163-169.

### Abstract

**Chernuk A.M. Ground of initial positions for descriptions of multi-layered structure „electrolytic grounding conductor is soil”** On the basis of analysis of existent structural decisions and descriptions generators of wind, wind energetic settings the questions of choice of type of generator, constructions of mechanical part of the winding setting, are on the whole considered. Management features, works, failings and advantages of different generators, are considered, wind turbines of different constructions.

**Keywords:** movable electricity generating plant, electrolytic grounding conductor, porous electrode.

### Анотація

**Чернюк А.М. Обґрунтування вихідних положень для дослідження характеристик багатопшарової структури „ електролітичний заземлітель – грунт”** На підставі аналізу існуючих конструктивних рішень і характеристик ветрогенераторів, вітроенергетичних установок у цілому розглянуті питання вибору виду генератора, конструкції механічної частини вітряної установки. Розглянуто особливості керування, роботи, недоліки й переваги різних генераторів, ветротурбін різних конструкцій.

**Ключові слова:** пересувні електроустановки, електролітичні заземлітелі, пористий електрод.

Здано в редакцію:  
27.04.2010 р.

Рекомендовано до друку:  
к.т.н., доц. К.М. Маренич