

УДК 621.316.99

## СНИЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИМЕНЕНИЕМ ОБРАБОТКИ ГРУНТА НЕАГРЕССИВНЫМИ К МАТЕРИАЛУ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ВЛАЖНОСТЬ ДОБАВКАМИ

**С.М. Барайшук,**

*зав. каф. практической подготовки студентов БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент*

**И.А. Павлович,**

*ассистент каф. практической подготовки студентов БГАТУ*

**М.Х. Муродов,**

*доцент каф. энергетики Наманганского инженерно-строительного института, канд. техн. наук, доцент (Республика Узбекистан)*

**Х. Абдулхаев,**

*ст. науч. сотр. лаборатории Узбекского Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства, канд. техн. наук*

**А.Н. Скрипко,**

*ведущ. техн. специалист ООО «ТерраЦинк», канд. техн. наук*

*Рассмотрены способы уменьшения сопротивления электролитического заземления изменением состава смеси заполнителя и смеси для околоэлектродного заполнения. Обоснована возможность применения для высокоомных, песчаных грунтов электролитических заземлителей. Проведен анализ влияния смесей для оптимизации заземления, содержащего гидрогели на сопротивление электролитического заземлителя.*

*Ключевые слова: заземляющее устройство, удельное электрическое сопротивление грунта, электролитическое заземление, смеси для оптимизации заземления, коэффициент сезонности, гидрогель.*

*The analysis of methods for reducing the resistance of electrolytic grounding by changing the composition of the mixture of the filler and the mixture for near-electrode filling has been carried out. The possibility of using electrolytic ground electrodes for high-resistance sandy soils has been substantiated. The effect of mixtures for optimization of grounding, containing hydrogels, on the resistance of an electrolytic grounding electrode has been investigated.*

*Key words: grounding device, electrical resistivity of the soil, electrolytic grounding, mixtures for optimizing grounding, seasonality coefficient, hydrogel.*

### Введение

В условиях засушливого климата и ограниченных водных ресурсов в песчаных грунтах с высоким удельным сопротивлением растеканию тока при проектировании и монтаже заземляющих устройств нормативные документы рекомендуют использовать ряд технических решений [1]. Одним из таких решений с целью снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве является обработка грунта веществами, неагрессивными к материалу заземлителя. Для этого используют различные виды околоэлектродных заполнителей.

Одним из вариантов является использование засыпки смеси, состоящей из глины и угольной или коксовой мелочи (дисперсного графита). При этом глина в таком варианте используется, прежде всего, как компонент, удерживающий влагу в околоэлектродном пространстве, а углеродсодержащие компоненты уве-

личивают проводимость. Идея технологии частичной замены глины на гидрогель возникла при изучении трудов Ташкентского института ирригации, специалисты которого участвовали в разработке некоторых видов гидрогеля [2-3]. Их исследования показали, что гидрогель дает возможность улучшения грунтов и стабилизации их влажности в зонах с серьезными климатическими ограничениями, что теоретически может позволить упростить строительство систем заземления в засушливых районах с песчаными почвами, являясь важной составляющей агропромышленных проектов, таких как хлопковые поля в Узбекистане.

Еще одним известным способом строительства заземления для сложных условий является применение электролитических заземлителей (рис. 1). Электролитический заземлитель – это электрод 3, который имеет форму трубки, диаметром 50-110 мм и длиной от 3 м, выполненный из нержавеющей стали с перфорацией на

### Основная часть

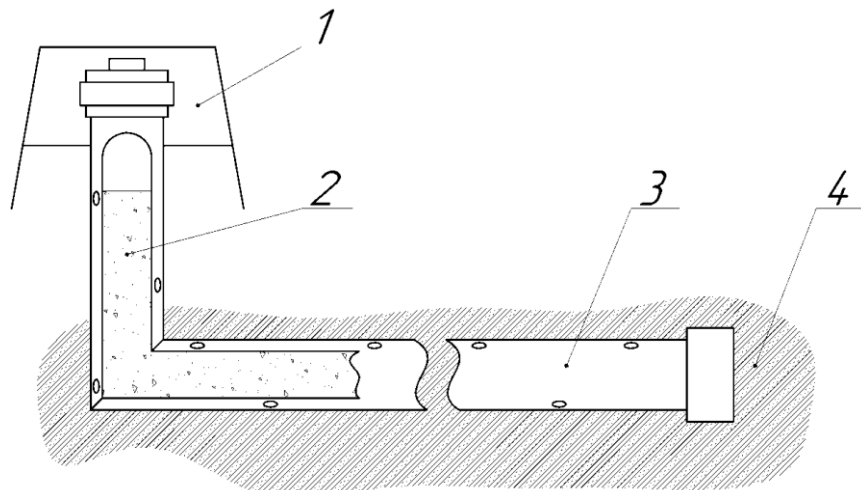


Рисунок 1. Электролитическое заземление:  
1 – колодец для обслуживания; 2 – минеральный наполнитель;  
3 – электрод; 4 – околоэлектродный наполнитель

В данной работе измерение сопротивления растеканию тока экспериментальных образцов осуществлялось при помощи измерителя сопротивления заземления ИС-10 следующим образом. Исследуемый пробный электрод при помощи измерительных кабелей соединяли с гнездами Т1 и П1. Потенциальный штырь П2 установили в грунт на расстоянии 4 м от измеряемого электрода (рис. 2).

Токовый штырь Т2 установили в грунт на расстоянии, не менее 40 м от пробного электрода и подключали соединительным кабелем к разъему Т2 прибора. Пробный электрод, токовый и

стенках. Electrodes filled with electrolyte 2 based on mineral salts [4-5]. Well-known mineral activators, produced on the territory of the SNP, are a mixture of ion-exchange salt, modified halogenid activator and PAB.

Перфорация предназначена для постепенного вымывания солей из электрода 3 в окружающий грунт 4, где они образуют электролит, который увеличивает электропроводность и снижает температуру промерзания грунта.

При использовании электролитов можно достигнуть значительного снижения удельного сопротивления грунта, однако такая система может работать только при достаточной влажности грунта и требует периодического обслуживания и пополнения внутреннего объема электрода.

Для решения этой задачи, при монтаже электролитического заземлителя грунт вокруг электрода 3 можно заменить специальным составом 4, который обеспечит повышенную влажность, а значит, лучшую диффузию солей 2 и более высокую эффективность, либо предусмотреть принудительное увлажнение грунта в местах заложения заземления.

Целью работы является разработка состава для электролитического заземления и изучение возможности улучшения эксплуатационных характеристик электролитического заземления применением ранее разработанных смесей, стабилизирующих влажность и увеличивающих проводимость в околоэлектродном пространстве [6-9].

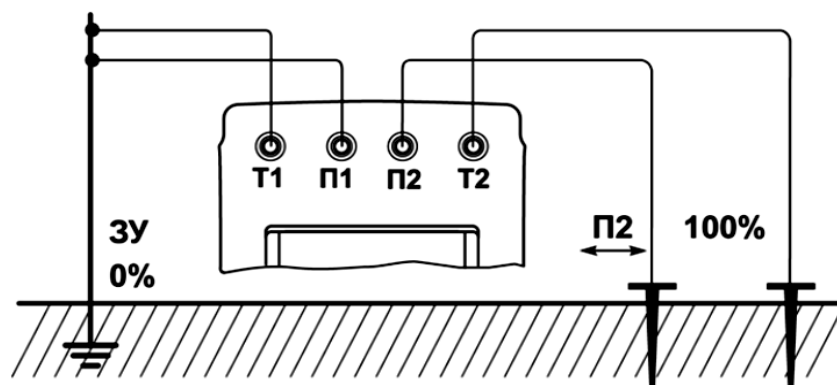


Рисунок 2. Схема измерения сопротивления заземления экспериментальных электродов при помощи ИС-10

потенциальный измерительные штыри выстраивали в одну линию. При установке измерительных штырей их заглубляли в грунт не менее чем на 0,5 м.

Производилась серия измерений сопротивления заземления при последовательной установке потенциального штыря в грунт на расстоянии 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 % от расстояния до второго токового штыря. После чего строился график зависимости сопротивления от расстояния между 3У и потенциальным штырем П2. Если сопротивление в средней части графика достаточно равномерно возрастает, то за истинное принимается значение между точками участка с минимальной разницей (не более 5 %) значений сопротивления. В противном случае все расстояние от пробного электрода до штырей П2 и Т2 увеличивалось в 1,5-2 раза или менялось направление установки штырей.

Влияние сопротивления измерительных кабелей на результат измерения было скорректировано путем использования четырехпроводного метода измерения, используя внутренние функции прибора.

Применяя 4-х зондовый способ, измерялось удельное сопротивление грунта в месте заложения экспериментальных электродов.

Также проводились лабораторные измерения удельного сопротивления грунта и смесей на установке, собранной согласно ГОСТ 9.602–2016, по схеме, представленной на рисунке 3. При этом были использованы:

- источник постоянного тока стабилизированный Union Test HY 3005d;
- миллиамперметр Victor класса точности 1.5 с диапазоном 100 и 500 мА;
- вольтметр Victor с входным сопротивлением не менее 1 Мом;
- ячейка прямоугольной формы с внутренними размерами:  $a = 100$  мм;  $b = 45$  мм;  $h = 45$  мм (рис. 3) из диэлектрического материала (стекло).

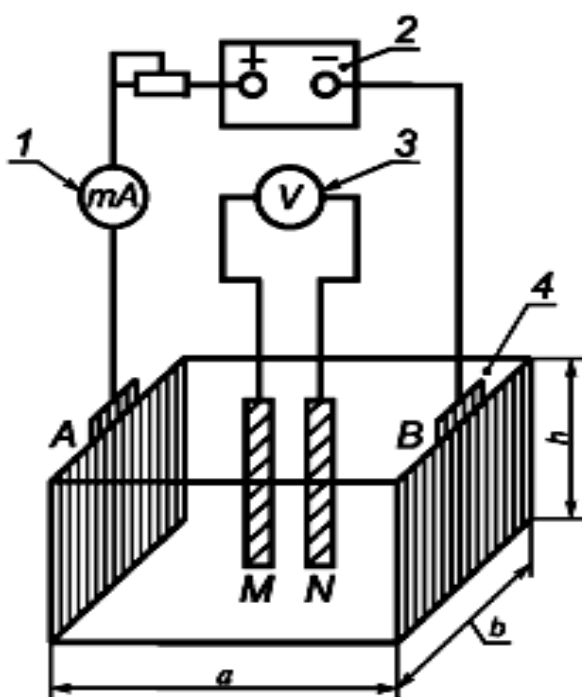


Рисунок 3. Схема установки для определения удельного электрического сопротивления грунта и смесей в лабораторных условиях:

- 1 – миллиамперметр; 2 – источник тока;
- 3 – вольтметр; 4 – измерительная ячейка размерами  $a$ ,  $b$ ,  $h$ ; A, B – внешние электроды; M, N – внутренние электроды

Электроды внешние (A, B) размером  $44 \times 40$  мм ( $40$  мм – высота электрода) в виде прямоугольных пластин из нержавеющей стали с ножкой, к которой крепят проводник-токопровод. При этом одну сторону каждой пластины, которая примыкает к торцовой поверхности ячейки, изолировали.

Электроды внутренние (M, N) из медной проволоки, диаметром  $2$  мм и длиной на  $60$  мм больше высоты ячейки.

Введение в пустотелый перфорированный электрод сухих электролитических составов при дальнейшей их реакции с водой, либо грунтовыми водами позволяет формировать обширную область грунта со значительно более низким, в сравнении с обычным, сопротивлением растеканию тока, что позволяет достигать снижения сопротивления растеканию тока контура заземления до  $10$  раз, в сравнении с контуром, занимающим аналогичную площадь. В данном случае корректно сравнивать с заземляющим контуром (электродом), занимающим именно ту же строительную площадь, который монтируется без использования активных (химических) компонентов.

На начальном этапе проводилось исследование гидростабилизирующих свойств смесей, в зависимости от содержания в них гидрогелей, результаты которого представлены на рисунке 4.

Как видно, при концентрации выше  $0,7\%$  сопротивление меняется незначительно, а при превышении концентрации  $1,2\%$  транспортная функция сшитых сополимеров достигает насыщения, и сопротивление смесей практически не изменяется, что позволяет говорить о том, что повышение концентрации более  $1,3\%$  не будет эффективным. При этом массовая доля электролитов в системе будет достигать  $18-20\%$ .

Как показано ранее в источнике [9] (рис. 5), оптимальным для растворения солевых оснований и уменьшения сопротивления грунта будет массовое содержание влаги от  $16\%$ .

Как видно из графиков, влажность смеси менее  $18\%$  приводит к росту сопротивления за счет уменьшения транспортной функции состава. При этом концентрация соли в смеси с грунтом (рис. 6) от  $75\%$  достаточна для поддержания сопротивления на стабильно низких значениях  $\sim 12-13$  Ом·м.

Однако при такой высокой концентрации соли значительно снижается транспортная характеристика сшитых сополимеров, и оптимальный уровень проводимости достигается уже при влажности, превышающей  $45\%$  (рис. 7).

При этом, как видно из рисунка 7, влажность менее  $25\%$  значительно увеличивает сопротивление смеси. Компенсировать это необходимое увеличение влажности можно введением формовочных добавок на основе бентонитовых глин. Кроме того, для оптимизации транспортных свойств сшитых сополимеров и компенсации эффекта засаливания свободной смоле с регенеративной способностью на применяемой соли в концентрации от  $1:1$  до  $1:2$  к сополимеру. Введение от  $5\%$  проводящих составов (дисперсный углерод, металлическая стружка, и т.п.) позволяет до  $30\%$  снизить проводимость внутри самого полого электролитического заземлителя.

Таким образом, оптимальные параметры состава для заполнения электрода можно представить в следующем виде (табл. 1):

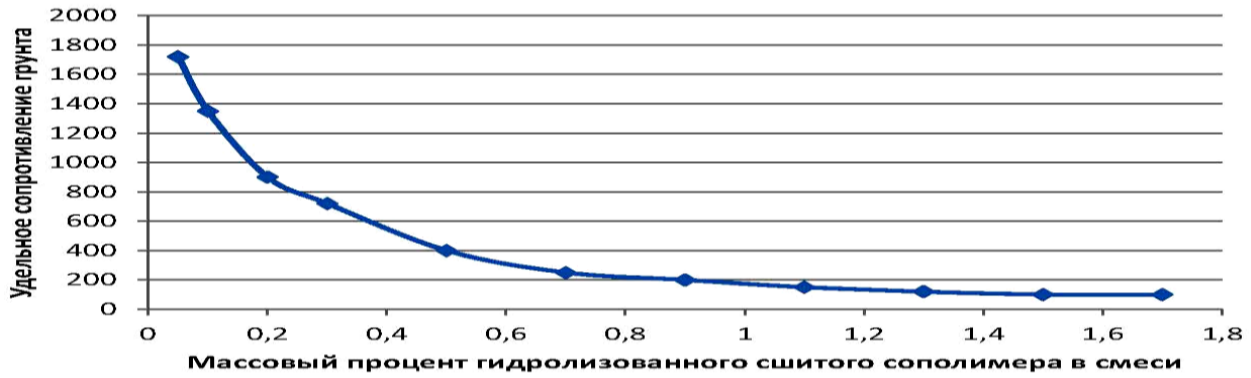


Рисунок 4. Зависимость удельного сопротивления грунта от содержания в нем активированного гидрогеля

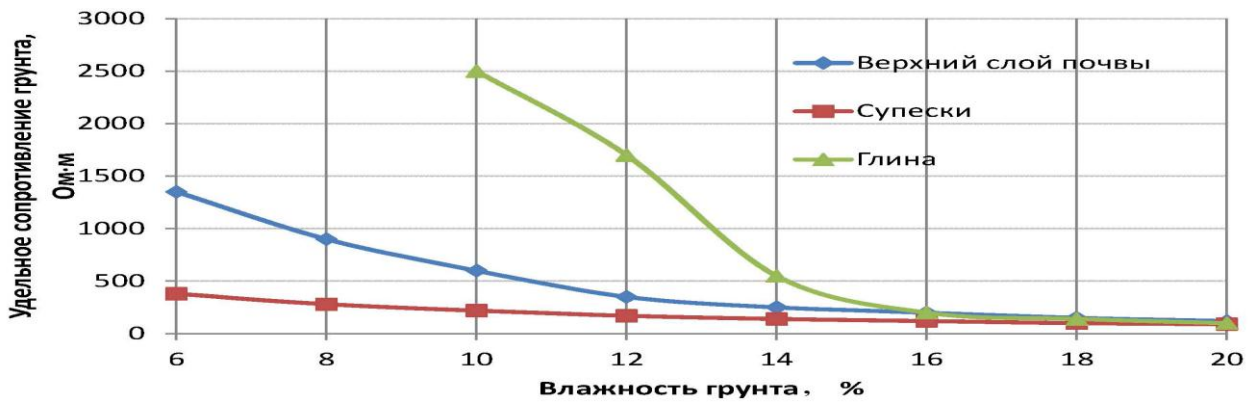


Рисунок 5. Зависимость удельного сопротивления смеси от влажности

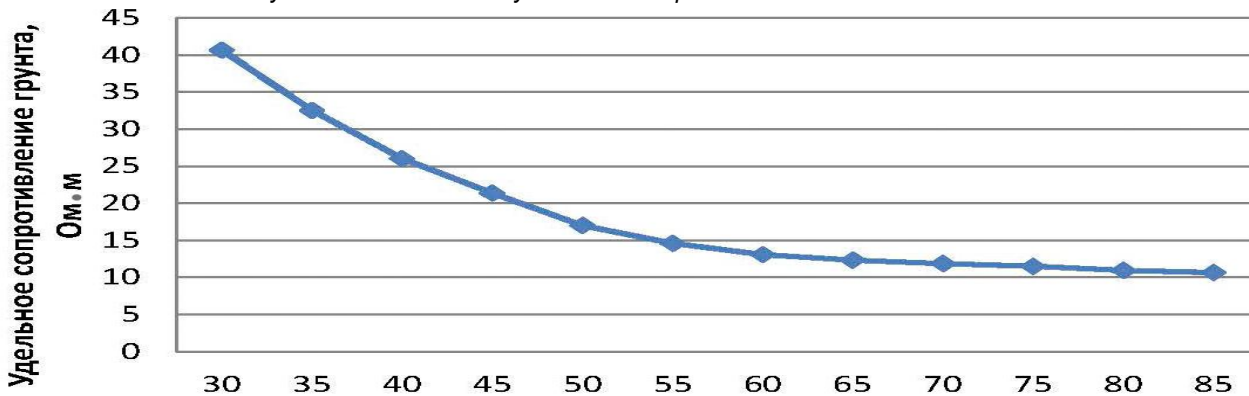


Рисунок 6. Зависимость удельного сопротивления смеси от массовой доли соли

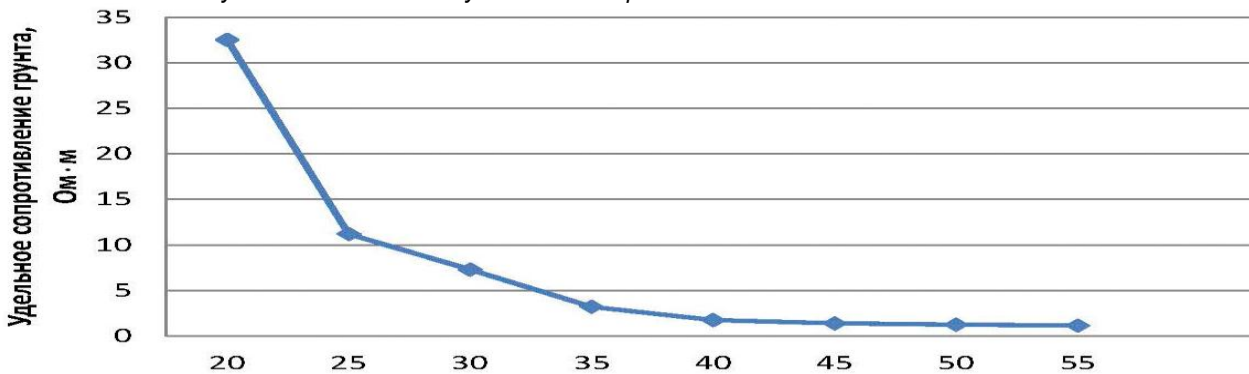


Рисунок 7. Зависимость удельного сопротивления смеси от влажности при массовой доле соли 80 %

**Таблица 1. Параметры смеси для заполнения электролитического электрода**

Наименование компонента для заполнения электролитического заземлителя	Диапазон оптимальных концентраций в массовых процентах
Соль ионообменная	75-80
Бентонитовые глины	11,4-16,4
Графит (металлическая стружка)	>5
Гидролизированный сополимер	>1,2
Смола ионообменная	>2,4

Натурные эксперименты выполнялись на земельном участке, свободном от каких либо подземных коммуникаций. Испытания проводились с использованием серийно выпускаемых электролитических электродов компании «Террацинк» для горизонтальной установки длиной 3 м с вертикальной частью, используемой для заполнения химическими реагентами. Технология монтажа электролитического электрода предполагает грунтозамещение вокруг электрода смесью, а также наполнение активным содержанием непосредственно самого электрода.

Для проведения исследований было смонтировано несколько электролитических заземлителей с различными видами активного содержимого электрода и различными грунтозамещающими смесями:

- электрод № 1 – по технологии производителя;
- электрод № 2 – с сухим электролитическим наполнителем производителя и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей;
- электрод № 3 – с увлажненным электролитическим наполнителем без приэлектродной засыпки;
- электрод № 4 – с увлажненным электролитическим наполнителем и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей;
- электрод № 5 – контрольный образец, состоящий из трех оцинкованных вертикальных составных заземлителей, длиной 1 метр, соединенных полосой 4x10 мм, длиной 3 метра, расположенных по контуру.

Для измерения сопротивления заземления, в случае растекания токов низкой частоты, использовалась четырехэлектродная схема с расположением вспомогательных электродов (рис. 2).

Первые измерения сопротивления были произведены непосредственно после монтажа электродов. В таблице 2 приведены результаты измерения сопротивлений заземления непосредственно после монтажа и по истечении 30 дней (устоявшийся грунт).

Обращают на себя внимание следующие особенности динамики изменения сопротивления заземления испытываемых образцов.

Сопротивление образца №1 после установки изменилось более чем на 40 %, что обусловлено постепенной диффузией солевого раствора из электрода и

солевого раствора, находящегося в приэлектродной засыпке в окружающий грунт.

Сопротивление заземления образцов № 2 и № 4 уже первоначально было на 10-15 % ниже, чем у электрода 1. Однако при усадке грунта уменьшилось на 15 % в первом случае и более чем на 50 % во втором, что обусловлено искусственным увлажнением приэлектродной засыпки перед монтажом с последующей диффузией увлажненного солевого раствора из электрода в грунт. Такое различие вызвано разной степенью увлажнения содержимого электрода, засыпки для этих образцов. Снижение сопротивления образца № 4 в течение первых 30 суток соответствует ранее известным исследованиям по применению смесей для оптимизации заземления [6], что совместно с электролитическим заземлением вызвало активную диффузию проводящих компонентов из тела электрода вглубь грунта, значительно снизив сопротивление. Подтверждением этому может служить значительное уменьшение объема засыпки внутри электрода в первые дни.

Объем состава во внутреннем объеме образцов № 1 и № 3 в течение первых 30 суток также уменьшилось, но незначительно, так как по технологии производителя после монтажа электродов требовалось проливать водой солевой состав в их внутреннем объеме. После пополнения солевой состав должен продолжить растворяться с помощью естественной влаги, содержащейся в грунте.

Сопротивление контрольного контура заземления изменилось в диапазоне 3 %, что может быть обусловлено колебаниями влажности грунта, и фактически подтверждает отсутствие внешнего влияния на результаты экспериментов, а также показывает, что электролитические заземлители позволяют до 10 раз снизить сопротивление контура заземления, имеющего ту же строительную площадь, что и традиционное заземление.

Последующие измерения проводились один раз в 1-2 недели для каждого исследуемого электрода. В измерениях всех образцов характер временной зависимости в целом повторяется, но в существенно сглаженной форме. Здесь надо отметить крайне не-

**Таблица 2. Результаты измерения сопротивлений заземления непосредственно после монтажа электродов и через 30 дней**

Измерения сопротивлений заземления	Электрод № 1	Электрод № 2	Электрод № 3	Электрод № 4	Контрольный образец
После монтажа	47,9	42,3	48	40	211
Через 30 дней	27,5	36,2	37,5	17,4	204

значительное изменение сопротивления заземления химически активных электродов.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что сопротивление электролитических заземлителей слабо реагирует на изменения погодных условий, что является положительным качеством электролитических заземляющих устройств. Наличие предложенного состава смеси во внутреннем объеме электролитического заземляющего электрода оказывает влияние на снижение значения сопротивления заземления только после вступления в реакцию с почвой через некоторый промежуток времени, достаточный для наступления равновесного влагопоглощения гидрогелем, входящим в состав смеси. Ускорить этот процесс можно лишь значительным предварительным увлажнением грунта в месте монтажа такого заземлителя. Исследование электролитического электрода в сочетании с грунтозамещающей смесью подтверждает, что его эффективность выше, чем без применения смесей для оптимизации заземления и открывает возможность использования таких систем в регионах с сухой песчаной почвой, с высоким удельным сопротивлением. Это особенно актуально при проектировании и строительстве систем заземления для Узбекистана и южных регионов Республики Беларусь.

Предложенные составы смеси для заполнения электролитических заземлителей показали более высокую эффективность, чем предоставленный ООО «Террацинк» контрольный образец, и могут быть внедрены в производство данной компании.

Для выяснения долговременных эксплуатационных характеристик электролитических заземлителей, как с применением внешних смесей, так и без них, необходимо провести дополнительные измерения в различных температурных и влажностных режимах, в том числе в зимний период времени, а также провести совместные исследования гидрогелей для оптимизации их применения в системах заземления.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила и защитные меры электробезопасно-

сти. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний: ТКП 339-2011(02230). – Введ. 23.08.2011. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2011. – 593 с.

2. Ширинов, Ш.Д. Исследование кинетики набухания синтезированных гидросорберов на основе гидролизованного полиакрилонитрила / Ш.Д. Ширинов, А.Т. Джалилов // *Universum: Химия и биология: электронный научный журнал*. – 2018. – № 3(45).

3. Исследование нового гидрогеля, синтезированного на основе крахмала, акриламида и бентонита / Б.А. Холназаров [и др.] // *Universum. Технические науки: электронный научный журнал*. – 2019. – № 4 (61).

4. Носкова, С.В. Сопротивление Электролитического заземлителя. Особенности расчета / С.В. Носкова // *Новости ЭлектроТехники*. – 2020. – № 1 (121). – № 2 (122). – С. 72-77.

5. Грибанов, А.Н. Бипрон – заземление электроустановок / А.Н. Грибанов // *Экспозиция Нефть. Газ*. – 2016. – № 4. – С. 72-75.

6. Барайшук, С.М. Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками / С.М. Барайшук, И.А. Павлович // *Агропанорама*. – 2020. – № 1 (137). – С. 20-23.

7. Драко, М.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта / М.А. Драко, С.М. Барайшук, И.А. Павлович // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – № 23 (1). – С. 80-92.

8. Tendencies in the design of the grounding devices for the electrical installations of the belarusian energy system: papers from Rudenko International Conference «Methodological problems in reliability study of large energy systems» (RSES 2020), Kazan, Russia, September 21-26, 2020 / E3S Web of Conf ; ed.: N. Voropai, S. Senderov, A. Michalevich and H. Guliev. – Kazan, 2020. – 155 p.

9. Барайшук, С.М. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта / С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.И. Кахоцкий // *Эпоха науки: междунар. науч.-практич. журнал*. – 2020. – № 24. – С. 87-93.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.09.2021