ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ ИХ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.

Барайшук Сергей Михайлович
Заведующий кафедрой практической подготовки студентов Белорусского государственного аграрного технического университета
Минск, Беларусь
Муродов Музаффар Хабибуллаевич
Доцент кафедры инженерной энергетики Наманганского инженерно-строительного института
E-mail: m_murodov@mail.ru Тел.: +998934014545
Гуломжонов Иброхимжон Олимжон угли
Магистрант Наманганского инженерно-строительного института
E-mail: gulomjanov1995@gmail.com. Тел.: +998973747711
https://doi.org/10.5281/zenodo.14607416

Аннотация. 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.

Annotatsiya. Elektrodga yaqinidagi aralashma tarkibini o'zgartirish orqali elektrolitik zaminlash qurilmasi qarshiligini kamaytirish usullari ko'rib chiqildi. Yuqori qarshilikli, qumli gruntlar uchun elektrolitik zaminlash qurilmalarini qo'llash imkoniyati asoslanadi. Tarkibida gidrogel bo‘lgan zaminlash qurilmasi optimallashtirish uchun aralashmalarning elektrolitik zaminlash elektrodining qarshiligiga ta'siri tahlil qilindi.

Kalit so'zlar: zaminlash qurilmasi, gruntning elektr qarshiligi, elektrolitik zaminlash, zaminlashni optimallashtirish uchun aralashmalar, mavsumiylik koeffitsienti, gidrogel.

Annotation. Methods for reducing the resistance of electrolytic grounding by changing the composition of the mixture of filler and mixture for near-electrode filling are considered. The possibility of using electrolytic grounding

conductors for high-resistance, sandy soils is substantiated. An analysis of the influence of mixtures for optimizing grounding containing hydrogels on the resistance of the electrolytic grounding electrode was carried out.

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 [1] рекомендуют использовать ряд технических решений, одним из которых является применение обработки грунта веществами неагрессивными к материалу заземлителя, с целью снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве. С этой целью используют различные виды околоэлектродных заполнителей.

Одним из вариантов является использование засыпки смеси, состоящей из глины и угольной или коксовой мелочью (дисперсного графита). При этом глина в таком варианте используется прежде всего как компонент, удерживающий влагу в околоэлектродном пространстве, а углеродсодержащие компоненты – увеличивают 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 возможности 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 (рисунок 1). Электролитические заземлитель – это электрод 3, который имеет форму трубки, диаметром которой 50-110 мм длинной от 3 м, выполненный из нержавеющей стали с перфорацией на стенках. Электроды заполнены электролитом 2 на основе минеральных солей [4-5]. Известные минеральные активаторы, производящиеся на территории СНГ, представляют собой смесь ионообменной соли модифицированной галогенидным активатором и ПАВ.

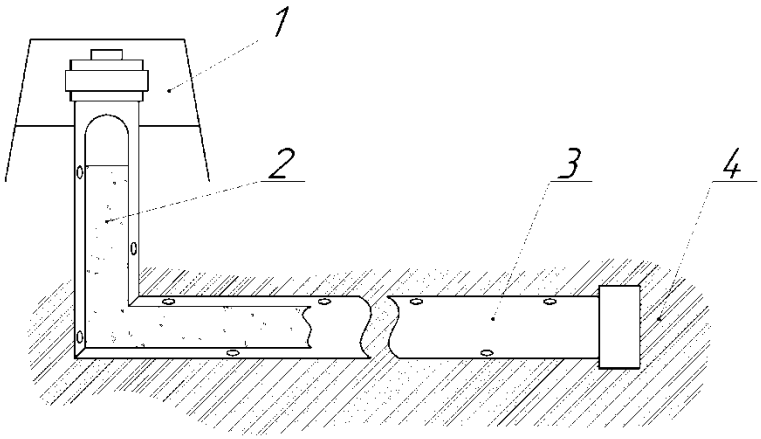

Рисунок 1. Электролитическое заземление. 1 – колодец для обслуживания, 2 – минеральный заполнитель, 3 – электрод, 4 – околоэлектродный заполнитель.

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.

Цель работы: 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].

Методика эксперимента

В данной работе измерение сопротивления растеканию тока экспериментальных образцов осуществлялась при помощи измерителя сопротивления заземления ИС-10 следующим образом. Соединяли исследуемый пробный электрод при помощи измерительных кабелей с

гнездами Т1 и П1. Потенциальный штырь П2 установить в грунт на расстоянии 4 м от измеряемого электрода (рисунок 2).

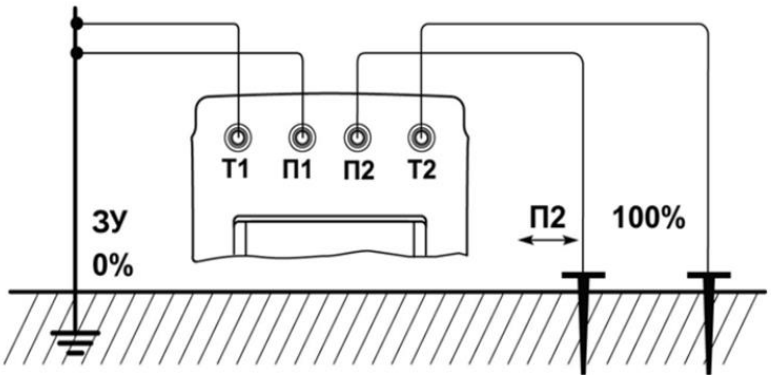

Рисунок 2. Схема измерения сопротивления заземления экспериментальных электродов при помощи ИС-10.

Токовый штырь Т2 устанавливается в грунт на расстоянии не менее 40 м от пробного электрода и подключается соединительным кабелем к разъему Т2 прибора. Пробный электрод, токовый и потенциальный измерительные штыри выстраивают в одну линию. При установке измерительных штырей их заглубляли их в грунт не менее чем на 0,5 метра.

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 ЗУ и потенциальным штырём 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 расстояния 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 путём использования четырехпроводного метода измерения используя внутренние функции прибора.

Используя 4–х зондовый способ, измерялось удельное сопротивление грунта в месте заложения экспериментальных электродов.

Основная часть

На начальном этапе проводилось исследование гидростабилизирующих свойств смесей, в зависимости от содержания в них гидрогелей, результаты представлены на рисунке 3.

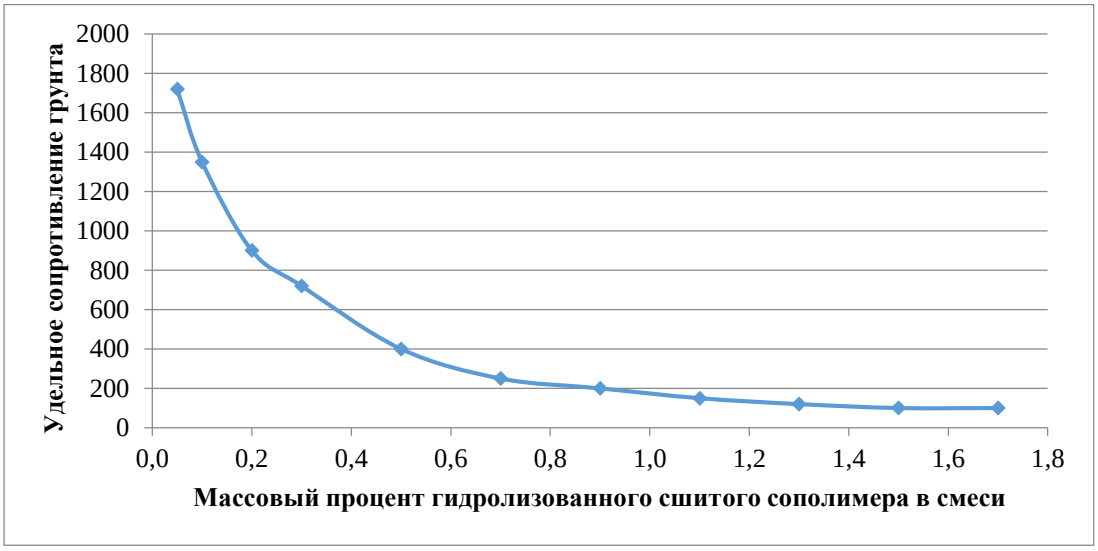

Рисунок 3. Зависимость удельного сопротивления грунта от содержания в нем активированного гидрогеля.

Как видно, при концентрации выше 0,7 процента 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 [9], рисунок 4, оптимальным, для растворения солевых оснований и уменьшения сопротивления грунта будет массовое содержание влаги от 16%.

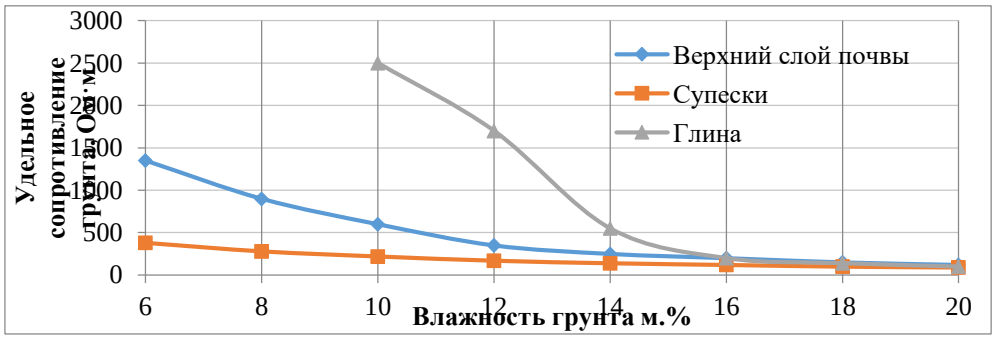

Рисунок 4. Зависимость удельного сопротивления смеси от влажности.

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 (рисунок 5), от 75 % достаточна для поддержания сопротивления на стабильно низких значениях ~12-130м·м.

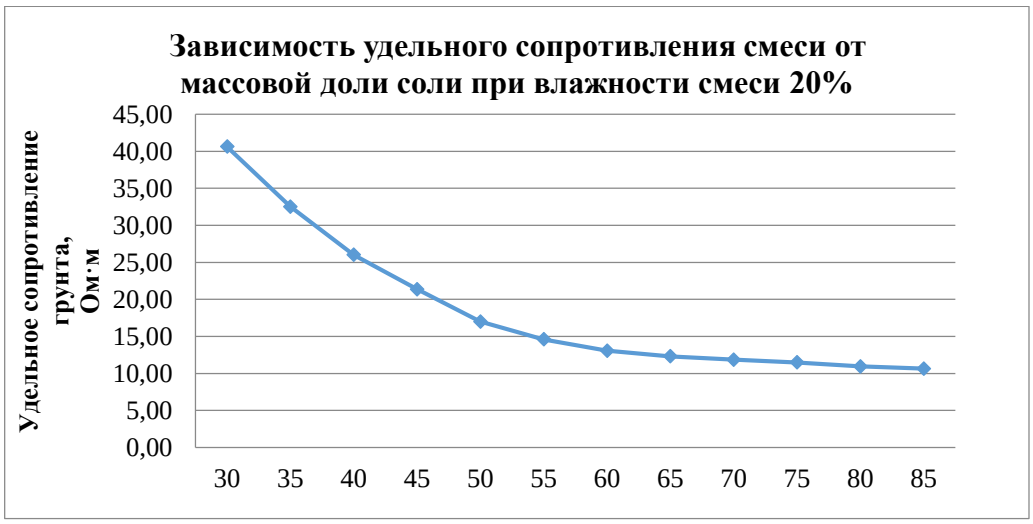

Рисунок 5. Зависимость удельного сопротивления смеси от массовой доли соли.

Однако при такой высокой концентрации соли значительно снижается транспортная характеристика сшитых сополимеров, и оптимальный уровень проводимости достигается уже при влажности превышающем 45% (рисунок 6).

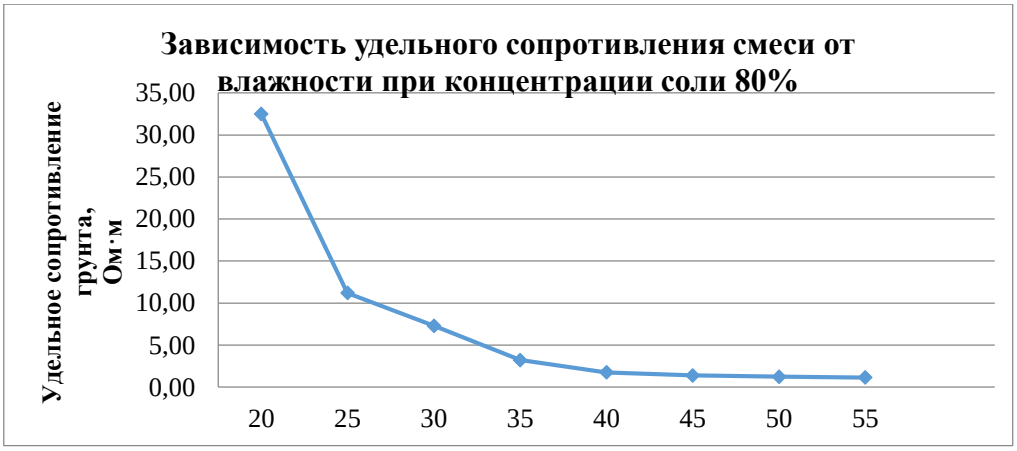

Рисунок 6. Зависимость удельного сопротивления смеси от влажности, при массовой доле соли 80%.

При этом, как видно из рисунка 6, влажность менее 25% значительно увеличивает сопротивление смеси. Компенсировать этот необходимое увеличение влажности можно введением формовочных добавок на основе бентонитовых глин. Кроме того, для оптимизации транспортных свойств

сшитых сополимеров и компенсации эффекта засаливания свободной поверхности необходимо применить ионообменную смолу, с регенеративной способностью на применяемой соли, в концентрации от 1:1 до 1:2 к сополимеру. Кроме того, 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 (таблица 1):

Таблица 1. Предложенные 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
Гидролизованный сополимера	>1,2
Смола ионнообменная	>2,4

Натурные эксперименты выполнялись на земельном участке, свободном от каких-либо подземных коммуникаций. Испытания проводились, используя серийно выпускаемые электролитические электроды 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, которая имеет низкое удельное сопротивление и в последующем будет корректно взаимодействовать с активным содержимым электрода. Само тело заземлителя заполняется активным содержимым, которое в последствии может быть добавлено, уменьшаясь в процессе диффузии в окружающий грунт. 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 электрод, состоящий из трех оцинкованных вертикальных составных заземлителей, длинной 1 метр, соединенных полосой 4х10мм длинной 3 метра, расположенных по контуру.

Для измерения сопротивления заземления в случае растекания токов низкой частоты использовалась 4-х электродная схема с расположением вспомогательных электродов, изображенная на рисунке 2.

Первые измерения сопротивления были произведены непосредственно после монтажа электродов. Таблица 3 показывает, сопротивление заземления непосредственно после монтажа и по истечении 30 дней (устоявшийся грунт).

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

	Электрод 1	Электрод 2	Электрод 3	Электрод 4	Контрольный
После монтажа	45	48	46,9	36,4	210
Через 30 дней	24,6	25,6	38,2	35,2	202
Через 90 дней	27,5	26,2	37,5	17,4	212
Через 180 дней	24.6	21,6	53,3	33,5	231
Через 360 дней	31	25,3	55,2	41,9	272
Через 720 дней	38	26,6	66,6	45,9	296

Изменения сопротивления заземления испытуемых 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 так же 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.

Заключение

Данные исследования показали, что сопротивление электролитических заземлителей слабо реагирует на изменение погодных условий, что является положительным качеством электролитических заземляющих устройств. Наличие предложенного состава смеси во внутреннем объеме электролитического заземляющего электрода оказывает влияния на снижение значения сопротивления заземления только после вступление 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, что особенно актуально при проектировании и строительстве систем заземления для Узбекистана и южных регионов РБ.

Для выяснения долговременных эксплуатационных характеристик электролитических заземлителей как с применением внешних смесей, так и без них проведены дополнительные измерения в различных температурных и влажностных режимах, в том числе в зимний период времени, которые показали динамику изменений сопротивления растеканию тока электролитических заземлителей, и эффективность засыпки, содержащей гидрогели не только на ранних этапах после монтажа, но и в дальнейшем. Стоит отметить, что применение таких материалов при не верно выбранных параметрах перфорации электрода и активировало коррозионные процессы на отверстиях, приводя к увеличению их диаметра и преждевременному вымыванию активного содержимого наполнителя. Подбор геометрии и расположения перфорации и коррозионных процессов тела электрода является интересным направлением исследований в будущем.

Литература:

1. ТКП 339-2011(02230) 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 электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний. – Введ. 23.08.2011. – Минск: Мин. энергетики республики Беларусь, 2011. – 593с.
2. Ширинов Ш.Д., Джалилов А.Т. Исследование кинетики набухания синтезированных гидросорберов на основе гидролизованного полиакрилонитрила // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. 2018. № 3(45).
3. Исследование нового гидрогеля, синтезированного на основе крахмала, акриламида и бентонита // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. Холназаров Б.А. [и др.]. 2019. № 4(61).
4. Носкова С.В. Сопротивление Электролитического заземлителя Особенности расчета // Новости ЭлектроТехники. – 2020 № 1 (121) – 2 (122). – с. 72-77.
5. Грибанов А.Н. Бипрон — заземление электроустановок //Экспозиция Нефть Газ, – 2016.– №4.– с. 72-75.

6. Барайшук С.М., Павлович И.А. Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажность добавками // Агропанорама. – 2020. – №1(137). – С. 20 –23
7. Дракo М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 23 (1), 80-92.
8. M. Drako, S. Baraishuk Tendencies in the design of the grounding devices for the electrical installations of the belarusian energy system // E3S Web of Conf. Volume 216, 2020 Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), Kazan, Russia, September 21-26, 2020 N. Voropai, S. Senderov, A. Michalevich and H. Guliev (Eds.) Article Number 01067
9. Барайшук С.М., Павлович И. А., Кахоцкий М. И. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта // Междуронадный научнопрактический журнал «ЭПОХА НАУКИ». – 2020. – №24 (2020). – С. 87 –93.