

УДК 332.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТА ПОЛОСЫ ОТВОДА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Сергей Викторович Кириллов**

кандидат технических наук

kirill\_mich@mail.ru

Мичуринская дистанция электроснабжения ОАО «РЖД»

Мичуринский государственный аграрный университет

Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Приведен обзор потребителей сетевой организации «Российские железные дороги», как одного из источников электроснабжения сельских поселений и производителей. Рассмотрены условия и режимы работы заземляющих устройств электроустановок, подключенных к системе тягового электроснабжения и питающих электроустановки сельскохозяйственных потребителей. Приведены результаты исследования электропроводных свойств грунта полосы отвода железной дороги.

**Ключевые слова:** электрифицированная железная дорога, система электроснабжения, сельскохозяйственные потребители, заземляющие устройства, удельное сопротивление грунта, электропроводные свойства грунта.

Совершенствование устройств электроснабжения является неотъемлемой частью технического прогресса, особенно это касается работы устройств электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, имеющих свою специфику, и имеющих отличия от систем электроснабжения промышленных и городских потребителей. И углубленное исследование параметров и режимов работы составляющих элементов и устройств данных потребителей, учитывающую особенности систем электроснабжения и энергопринимающих устройств является актуальной задачей.

С периода проектирования и строительства электрифицированных железных дорог, интерес к линиям и центрам питания тягового электроснабжения, питающих разнородную нагрузку, для использования их в качестве источника питания сельскохозяйственных потребителей проявлялся на практике, не смотря на особенности данной системы электроснабжения.

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги», являясь национальным сетевым оператором в области электроснабжения предоставляет услуги по подключению энергопринимающих устройств юридических, физических лиц и индивидуальных предпринимателей к электрическим сетям без ограничений, в соответствии с Правилами недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии, действующими в Российской Федерации.

Ряд сельскохозяйственных предприятий и производств, в первую очередь, расположенных вблизи железнодорожных станций и имеющих объемы производства, требующие прямую связь с железнодорожной инфраструктурой (железнодорожные подъездные пути, локомотивы и вагоны, увязка с железнодорожной централизацией и связью) в большинстве случаев также имеют технологическое присоединение к электрической сети ОАО «РЖД». Как пример - это зерновые элеваторы, плодоконсервные и перерабатывающие комбинаты, сахарные, мукомольные, крахмалопаточные и экстракционные заводы, животноводческие и птицеводческие фермы и фабрики, предприятия по переработке масложиров, предприятия по изготовлению, ремонту и

продаже сельскохозяйственной техники и др. Также необходимо указать, что сельские поселения – деревни, села, поселки, районные центры и отдельные усадьбы, расположенные вблизи железнодорожных линий чаще всего подключены к системе электроснабжения электрических железных дорог. В структуре нетяговых потребителей, получающих питание от железнодорожных электрических сетей, доля потребления сельскохозяйственных предприятий, производств и населенных пунктов может достигать до 70 % [2, 4].

Основной особенностью всех стационарных (нетяговых) электропотребителей, расположенных вблизи железнодорожных линий и присоединенных к электрической сети, питаемой от тяговой подстанции переменного тока является то, что в качестве одного фазного проводника питающей линии используются рельсы железнодорожной линии, согласно установившейся практике - это фаза «С». Данная система имеет название ДПР (два дополнительных провода – рельс), имеет уровень напряжения 25 кВ и достаточно широко внедрялась при масштабной электрификации железных дорог СССР, проводимой в 50-х – 80-х годах XX века [2, 4]. У большинства данных КТП, подключенных к данной системе электроснабжения, имеются два собственных контура заземления – выравнивающий, который служит для выравнивания потенциала и защиты персонала от поражения электрическим током, и выносной – рабочий, для организации работы низковольтных сетей напряжением 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью. Дополнительно у КТП, подключенных к системе электроснабжения ДПР имеется особенность, определяемая техническими возможностями системы тягового электроснабжения и ДПР - с трансформатором мощностью до 25 кВА включительно, допускается работа данного КТП без присоединения к рельсу. В этом случае фаза «С» присоединяется к рабочему контуру заземления (высоковольтному), и основным фазным проводником в данном случае является земля (Инструкция по заземлению устройств энергоснабжения на электрифицированных железных дорогах ЦЭ-191, утверждена 10.06.1993 г.).

Таким образом, у одной КТП подключенной к системе электроснабжения ДПР 25 кВ, может быть до трех контуров заземления – рабочий высоковольтный, выравнивающий (защитный) и рабочий низковольтный (выносной).

Дополнительной особенностью расположения КТП, питаемых от железнодорожных систем электроснабжения, является то, что данные электроустановки, как правило, расположены в полосе отвода железной дороги.

Полоса отвода железных дорог – это земельные участки, которые прилегают к железнодорожным путям, занятые ими или предназначенные для них, а также на которых размещены различные объекты железнодорожного транспорта и связанной инфраструктуры, в т.ч. устройства энергетики и систем электроснабжения.

В этой связи, данные земельные участки имеют свои особенности, которые могут оказывать значительное влияние на характеристики и свойства грунта:

- неоднородность грунта;
- воздействие технических жидкостей и веществ;
- воздействие вибрации от железнодорожного подвижного состава;
- близкое расположение различных металлических предметов в грунте (рельсы, металлические трубопроводы, устройства заземления и т.п.);
- воздействие электромагнитных и электростатических полей от системы тягового электроснабжения и др.

Заземляющие устройства, являются неотъемлемой частью электроустановок всех классов напряжения – до 1 кВ и выше. А условия работы заземляющих устройств определяются следующими параметрами:

- удельное электрическое сопротивление грунта;
- электрические параметры заземляющих и других защитных проводников.

Заземляющие устройства служат для обеспечения безопасности людей, животных и защиты электрооборудования, а также должны обеспечивать эксплуатационные режимы работы электроустановок. Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлителем называется проводник (электрод) или совокупность металлических соединённых между собой проводников (электродов), непосредственно находящихся в соприкосновении с землёй.

Таким образом, можно сделать вывод, что грунт (земля) является элементом системы электроснабжения и участвует в работе электроустановок и все системы электроснабжения в целом.

Качество заземляющих устройств оказывает значительное влияние на безопасность использования электрических установок и на рабочие режимы электроустановок и других устройств, в ходе эксплуатации, которых, требуется использование заземляющего устройства. А качество работы заземляющего устройства зависит от двух факторов: технического состояния самого заземляющего устройства и удельного сопротивления грунта [1].

Удельным сопротивлением грунта называется электрическое сопротивление, оказываемое грунтом в форме куба объемом 1 кубический метр при прохождении тока от одной грани этого куба к противоположной. Удельное сопротивление грунта обозначается через  $\rho$  и выражается в Ом\*м. Сопротивление  $\rho$  можно определить, используя эмпирическую формулу [3, 5]:

$$\rho = \alpha \rho_h \Phi^{-i} S^{-n} \quad (1),$$

где  $\rho_h$  - удельное электрическое сопротивление содержащейся в грунте воды;

$\Phi$  – коэффициент, определяющий пористость грунта;

$S$  – доля объема грунта, заполненного водой;

$\alpha, i, n$  – эмпирические параметры.

Информация об удельном сопротивлении грунта необходима при проектировании и строительстве заземляющих устройств и их элементов всех видов и назначений – рабочих, защитных, линейно-защитных, устройств защиты трубопроводов от коррозии (анодных, катодных, электродренажной) и др. Так как разновидностей грунта значительное количество, то и параметры замеров электрического сопротивления грунта могут сильно различаться между собой. На показания удельного сопротивления влияют - тип почвы, плотность, количество влаги в почве, наличие пор и пустот, уровень промерзания,

температура внешней среды, концентрация в грунте различных химических веществ, солей и щелочных остатков и другие факторы. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 50571.5.54–2013 «ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ» регламентирует средние значения большинства типов почвы, которые можно встретить на территории России.

Как видно из формулы (1), аналитический расчет всех факторов, влияющих на величину  $\rho$ , затруднен, поэтому удельное сопротивление, удовлетворяющее принятой точности расчета, чаще всего получают путем непосредственных измерений.

Необходимость получения значений удельного сопротивления грунта возникает уже на этапе предпроектного обследования, проектирования и сдачи объекта в эксплуатацию. Система заземления должна также подвергаться периодическим проверкам во время эксплуатации, чтобы коррозия или изменение удельного сопротивления грунта не могли значительно повлиять на её параметры.

Основные компоненты слоя грунта, которые в большей части участвуют в прохождении электрического тока электроустановок и систем электроснабжения - кремнезем, глинозем, известняк, уголь и т. д. Данные составляющие, представляют собой изоляторы, и поэтому проводимость грунта зависит от почвенного раствора, т. е. влаги и солей, находящихся между непроводящими твердыми частицами компонентов. Значения удельного сопротивления для различных минералов, в ряде случаев, может отличаться на несколько порядков. Эта разница обусловлены влиянием примесей и различной структурой минеральных зерен, которые подвергались измерениям. Микроскопические трещины, поры и окисления поверхности в пределах индивидуальных зерен вызывают значительные изменения измеряемых сопротивлений. В таблице 1 приведены рекомендуемые расчетные значения удельного электрического сопротивления верхнего слоя земли [3]:

Значения удельного электрического сопротивления верхнего слоя земли

№ п/п	Характеристика слоя грунта	Удельное сопротивление, Ом*м
1.	песок сильно увлажнённый	10-60
2.	песок сухой	1500-4200
3.	суглинок	10 - 190
4.	глина	20-60
5.	торф	10-50
6.	солончаковые почвы	15-25
7.	щебень сухой	не менее 5000
8.	щебень мокрый	не менее 3000
9.	чернозем	10-50

### Материалы и методы

Для получения исходных данных для проектирования электроустановок, расположенных в полосе отвода железной дороги, а также для анализа эксплуатационных характеристик заземляющих устройств электроустановок, подключенных к системе электроснабжения железной дороги были проведены измерения удельного сопротивления грунта. Измерения производились с использованием четырёх электродов, размещенных линейно на равных расстояниях (метод Веннера, метод вертикального электрического зондирования) – рис. 1.

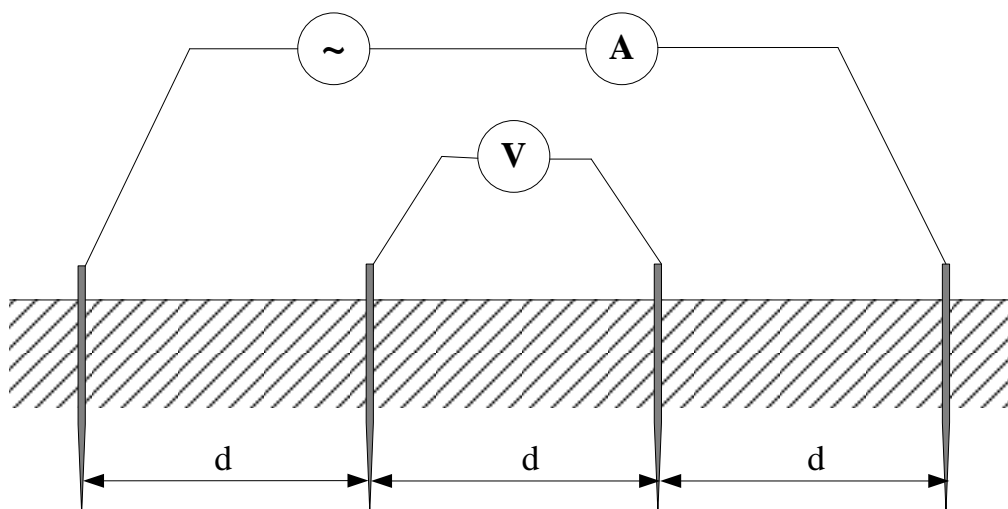


Рисунок 1 – Метод измерения удельного сопротивления грунта

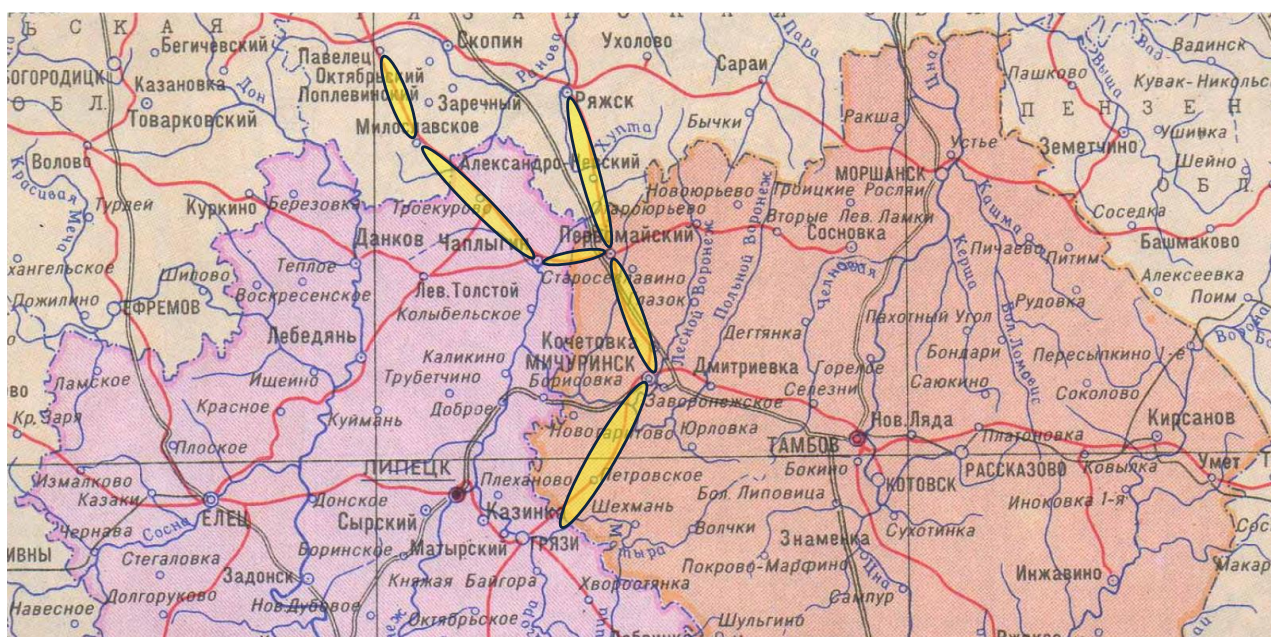
Способ измерения - измерительные штыри (рис. 1), устанавливаются в грунт по прямой линии через равные расстояния ( $d$ ) и производится измерение сопротивления по методу амперметра-вольтметра. Расчёт удельного сопротивления грунта  $\rho$  производят по формуле:

$$\rho = 2\pi * d * R \quad (2).$$

где  $d$  – расстояние между штырями (рис.1),  $R$  – измеренное сопротивление.

Приборы для измерений: МС-08(07), М-416, ИС-10, типа MRU-10X, СЕМ, МЕГЕОН и др.

Исследования проводились в границах Тамбовской, Липецкой и Рязанской областях. На рисунке 2 приведена карта полосы отвода железной дороги, где проводились исследования.



○ - полоса отвода железной дороги, где проводились измерения

Рисунок 2 – Карта полосы отвода железной дороги, в границах Тамбовской, Липецкой и Рязанской областях, где проводились исследования

## Результаты и обсуждение

Результатом проведенных измерений, стал массив значений, включающий 489 измерения. Обработка данных массива производилась средствами математической статистики в программно-вычислительной системе



STATISTICA. В таблице 2 приведены основные описательные статистики измеренных значений удельного сопротивления грунта.

Таблица 2

Описательные статистики измеренных значений удельного сопротивления грунта

Количество измерений	Среднее значение, Ом*м	Минимальное значение, Ом*м	Максимальное значение, Ом*м	Стандартное отклонение
489	41,52	5,46	95,87	22,19

Как видим, в сравнении приведенных данных таблицы 1 и таблицы 2, значения удельного сопротивления грунта полосы отвода железных дорог, значительно меньше значений, приведенных в справочной литературе [3], и рекомендуемых к расчёту параметров заземляющих устройств.

На рисунке 3 приведена столбчатая диаграмма распределения измеренных значений удельного сопротивления грунта

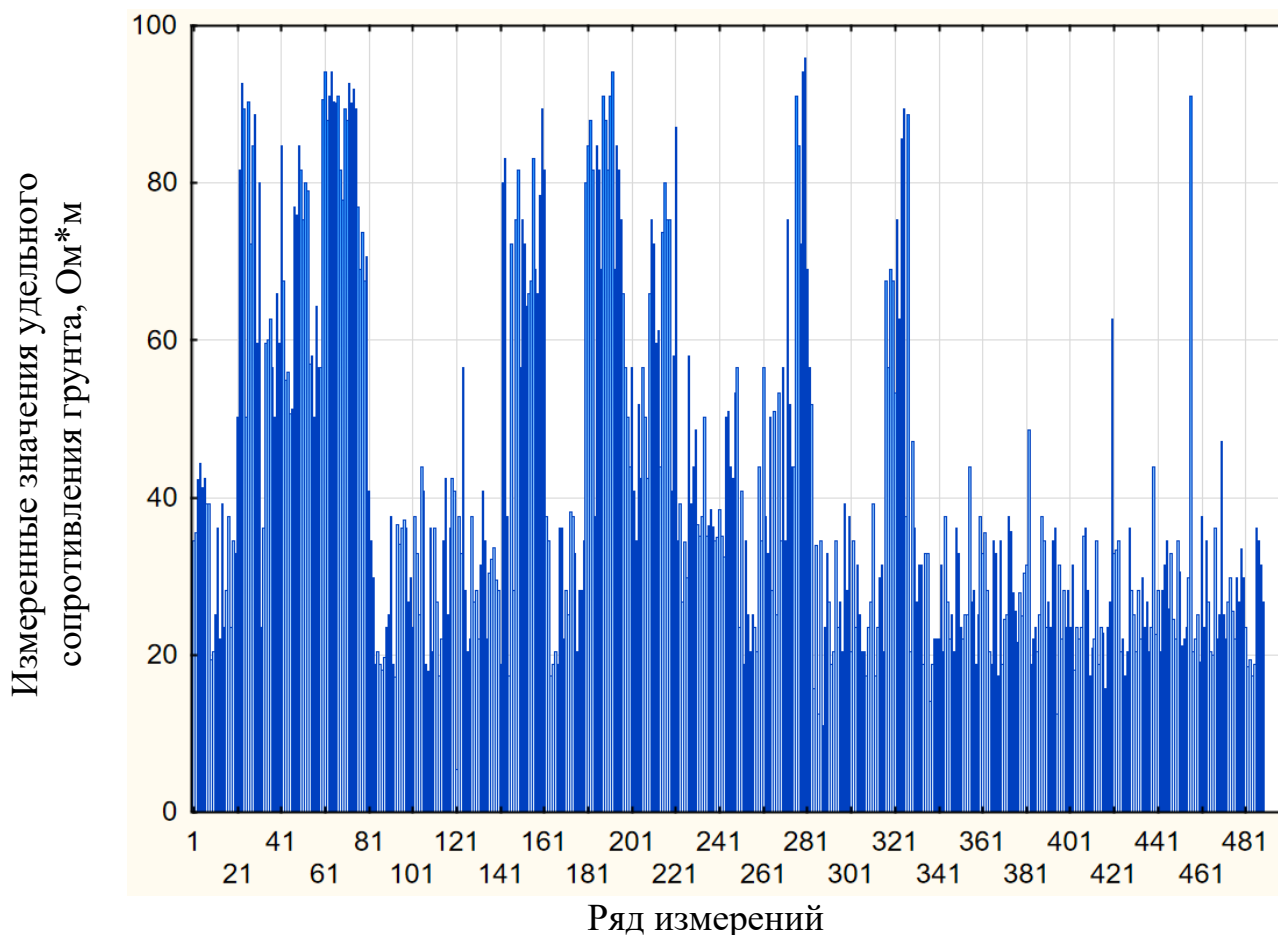


Рисунок 3 – Столбчатая диаграмма распределения измеренных значений удельного сопротивления грунта

На рисунке 4 приведена гистограмма распределения измеренных значений удельного сопротивления грунта.

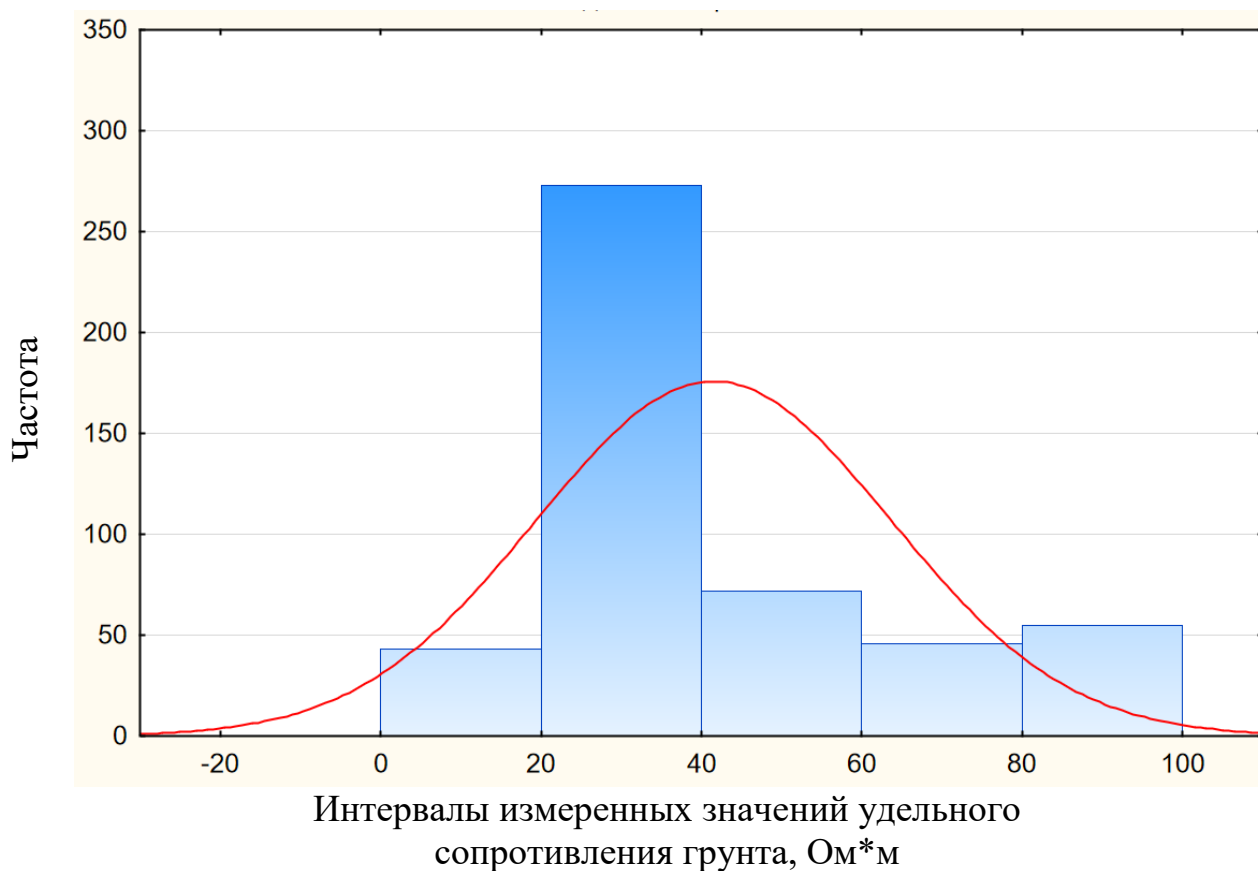


Рисунок 4 – Гистограмма распределения измеренных значений удельного сопротивления грунта

Полученные значения удельного сопротивления грунта полосы отвода железных дорог позволяют сделать вывод о более лучших электропроводных свойствах грунта земельных участков, которые прилегают к железнодорожным путям, и на которых размещены различные объекты железнодорожного транспорта и связанной инфраструктуры, в т.ч. устройства энергетики и систем электроснабжения.

Это может быть обусловлено следующими факторами:

- неоднородностью грунта, наличием примесей и вкраплений, вследствие проведения строительных работ и других факторов;

- воздействием и наличием в грунте технических и различных химических жидкостей, и веществ;

- воздействием вибрации, вследствие чего, происходит уплотнение грунта, с уменьшением количества и размеров пор и полостей;

- близким расположением различных металлических предметов инфраструктуры железной дороги в грунте (рельсы, металлические трубопроводы, устройства заземления и т.п.) и др.

### **Выводы**

1. Заземляющее устройство является важным элементом электроустановки, которое участвует в работе системы электроснабжения.

2. Удельное сопротивление является основным электропроводным свойством грунта, которое определяет конструктивные особенности заземляющего устройства и его электрические параметры.

3. Электропроводные свойства грунта полосы отвода железных дорог имеют существенные отличия в электрических характеристиках в сравнении с грунтами, удаленных от территории железной дороги.

### **Список литературы:**

1. Безик Д.А., Гурьянов Г.В., Безик Е.И. Некоторые вопросы расчёта электропроводности почв // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 4(14). С. 223-228. EDN VJKDRT.

2. Гордеев А.С., Кириллов С.В. Надежность электроснабжения сельских поселений от подстанций Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО "РЖД" // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск-наукоград РФ, 25-27 октября 2023 года. Мичуринск: Общество с ограниченной ответственностью "БИС", 2023. С. 45-52. EDN ENILVX.

3. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергосервис, 2006. - 519 с.

4. Кириллов С.В., Виноградов А.В. Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения

электрифицированной железной дороги // Техника и оборудование для села. 2024. № 7(325). С. 42-45. DOI 10.33267/2072-9642-2024-7-42-45.

5. Субботина М.Г., Батье-Салес Х. Об электропроводности почв в современных исследованиях // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3(3). С. 28-33. EDN RDSCGN.

**UDC 332.1**

**INVESTIGATION OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE PROPERTIES  
THE SOIL OF THE RAILWAY RIGHT-OF-WAY**

**Sergey Viktorovich Kirillov**

candidate of technical sciences

kirill\_mich@mail.ru

Michurinskaya power supply distance of JSC "Russian Railways"

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** An overview of consumers of the network organization "Russian Railways", as one of the sources of electricity supply to rural settlements and manufacturers, is given. The conditions and operating modes of grounding devices of electrical installations connected to the traction power supply system and supplying electrical installations to agricultural consumers are considered. The results of the study of the electrically conductive properties of the soil of the railway right-of-way are presented.

**Keywords:** electrified railway, power supply system, agricultural consumers, grounding devices, soil resistivity, electrically conductive properties of soil.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 20.10.2024; принята к публикации 30.10.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 20.10.2024; accepted for publication 30.10.2024.