

УДК 621.316.9

*Горбенко Ю.М.,  
кандидат технических наук, доцент  
доцент кафедры «Электроэнергетика и электротехника»  
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный  
университет  
Россия, г. Владивосток*

*Набатов М.П.,  
студент,  
4 курс, факультет «Энергетика и электротехника»  
Мореходный институт  
Россия, г. Владивосток*

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ РЫБООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

***Аннотация:** Статья посвящена анализу современных подходов к проектированию, монтажу и эксплуатации заземляющих устройств, применяемых на рыбообработывающих предприятиях. Рассмотрены основные типы заземлителей, методики расчета их параметров, требования нормативных документов к конструктивному исполнению. Сформулированы рекомендации по выбору оптимальных технических решений с учетом специфики производственных объектов.*

***Ключевые слова:** анализ, системы заземления, недостатки, рыбообработывающие предприятия, нормативные документы, параметры.*

***Annotation:** The article is devoted to the analysis of modern approaches to the design, installation, and operation of grounding devices used at fish processing enterprises. The main types of grounding devices, methods for calculating their parameters, and requirements of regulatory documents for their design are*

*considered. Recommendations are formulated for choosing optimal technical solutions, taking into account the specifics of industrial facilities.*

***Key words:** analysis, grounding systems, disadvantages, fish processing enterprises, regulatory documents, parameters.*

## **Нормативные требования к системам заземления промышленных объектов**

Система заземления промышленного здания – это сложная инженерная конструкция, от которой зависит жизнь людей и сохранность оборудования. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) седьмого издания содержат указания нормируемых параметров заземляющих устройств.

Согласно п. 1.7.101 ПУЭ сопротивление растеканию тока заземляющего устройства в электроустановках напряжением 110 кВ и выше не должно превышать 0,5 Ом [1]. Для электроустановок напряжением 3–35 кВ, эксплуатируемых в сетях с эффективно заземленной нейтралью, норма составляет 0,5 Ом, а в сетях с изолированной нейтралью допускается увеличение этого значения до 10 Ом при условии соблюдения дополнительных требований к напряжениям прикосновения.

При этом п. 1.7.62 ПУЭ указывает на необходимость прокладки заземляющих проводников так, чтобы они были защищены от механических повреждений. В цехах с повышенной влажностью или агрессивными средами – особое значение приобретает коррозионная стойкость заземляющих электродов [2].

В рыбообрабатывающей промышленности наиболее распространено применение горизонтальных и вертикальных заземлителей. Горизонтальные элементы выполняют в виде стальных полос сечением не менее 160 мм<sup>2</sup>, проложенных в грунте на глубине 0,5–0,7 м от поверхности. Вертикальные заземлители – это стальные стержни диаметром от 16 мм, угловая сталь с

размером полки не менее 40 мм или трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм, длиной 2–3 метра.

### **Конструктивные решения и расчет систем заземления**

Заземляющие устройства промышленных зданий проектируются на основе детального анализа грунта. Удельное электрическое сопротивление почвы может варьироваться в широких пределах – от 10 Ом · м для влажных суглинков до 1000 Ом · м и более для песчаников и скальных пород [3]. Эта величина оказывает определяющее влияние на конфигурацию заземлителя, количество и глубину установки вертикальных электродов.

Расчет сопротивления растеканию тока одиночного вертикального заземлителя в однородном грунте производится по формуле:

$$R_B = \left( \frac{\rho}{2\pi L} \right) * \left[ \ln\left( \frac{2L}{d} \right) - 1 \right]$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта (Ом·м),  $L$  – длина заземлителя (м),  $d$  – его диаметр (м). Однако реальные грунты редко бывают однородными. На практике встречается двухслойная, а иногда и трехслойная структура – к примеру, верхний слой песка толщиной 2–3 м с удельным сопротивлением 500 Ом·м может покрывать глинистые отложения с сопротивлением 80 Ом·м. Для таких случаев применяют методику эквивалентного удельного сопротивления либо прямое моделирование многослойной структуры.

Практика показывает, что комбинированная система из горизонтальных и вертикальных заземлителей обеспечивает наилучшие результаты.

Вертикальные элементы, заглубленные в грунт на 3–5 метров, достигают слоев с более стабильной влажностью и меньшим удельным сопротивлением. Горизонтальные полосы, соединяющие вершины вертикальных электродов, образуют сетку, которая улучшает растекание тока и создает зону выравнивания потенциалов вблизи поверхности, уменьшая шаговое напряжение.

Особая ситуация складывается на объектах с высоким уровнем коррозионной активности грунтов. Гальванические цехи, предприятия химической промышленности, территории с кислыми почвами требуют применения омедненных стержней, оцинкованных элементов либо использования электропроводящих смесей на основе графита и бентонита, которые защищают металл от разрушения.

В зимний период в северных регионах замерзание верхних слоев почвы может привести к увеличению сопротивления заземления в 1,5–2 раза. На это нужно обращать внимание на этапе проектирования, вводя поправочный коэффициент климатической зоны.

### **Электромагнитная совместимость и системы уравнивания потенциалов**

Рыбообрабатывающие предприятия насыщены мощными электроприемниками, частотно-регулируемыми приводами, импульсными источниками питания. Коммутационные процессы, аварийные режимы и грозовые перенапряжения создают импульсные токи, стекающие через заземляющее устройство и создающие перепады потенциалов между различными точками системы. Эти перепады могут достигать десятков и даже сотен вольт, что угрожает работоспособности чувствительной электроники и создает риск поражения персонала [4].

Уравнивание потенциалов – основной способ решения этой проблемы. Согласно п. 1.7.82 ПУЭ все сторонние проводящие части, одновременно доступные для прикосновения, должны быть соединены между собой и с главной заземляющей шиной. Это касается металлоконструкций здания, трубопроводов водоснабжения, отопления, газоснабжения, систем вентиляции. На крупных предприятиях количество точек присоединения может исчисляться сотнями.

При замыкании на землю в электроустановке напряжением 110 кВ и выше ток короткого замыкания может достигать нескольких килоампер.

Растекаясь через заземлитель, он создает значительный потенциал на поверхности грунта в радиусе до нескольких десятков метров от места стекания [5]. Если в этой зоне находятся подземные металлические коммуникации – кабельные линии с металлической оболочкой, трубопроводы – они приобретают высокий потенциал и могут перенести его за пределы территории производства, создавая угрозу для персонала и населения.

Для ограничения выноса потенциала применяют меры:

1. заземляющее устройство выполняют достаточно протяженным, чтобы снизить градиент потенциала на периферии.
2. устанавливают разделительные изолирующие вставки на трубопроводах и применяют кабели с изолированной оболочкой.
3. на удалении 1–1,5 км от подстанции предусматривают повторное заземление металлических коммуникаций, что обеспечивает «сброс» потенциала вдали от опасной зоны.

### **Мониторинг и диагностика систем заземления в процессе эксплуатации**

Контроль состояния заземляющих устройств – обязательное условие обеспечения электробезопасности. Согласно п. 2.7.9 «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» измерение сопротивления заземления должно проводиться не реже одного раза в шесть лет для стационарных установок и ежегодно для передвижных и переносных электроприемников [6]. На практике многие предприятия выполняют контрольные измерения чаще – один раз в год, особенно в условиях агрессивных грунтов.

Основной метод измерения – компенсационный, реализуемый с помощью приборов типа М-416, Ф4103-М1, более современных цифровых измерителей серий MRU, Fluke. Методика предполагает использование вспомогательного токового и потенциального электродов, устанавливаемых на расстоянии, превышающем в несколько раз линейные размеры заземлителя.

Источник переменного тока создает поле растекания, напряжение между заземлителем и потенциальным электродом позволяет вычислить сопротивление.

Однако измерения на действующих объектах часто осложнены помехами от блуждающих токов, работы мощных преобразователей частоты, систем электросварки. Поэтому во избежание помех применяются частотно-избирательные измерители, работающего на частоте, отличной от промышленной 50 Гц, что позволяет отфильтровать помехи.

Визуальный осмотр также входит в комплекс диагностических мероприятий. Проверяется целостность контактных соединений заземляющих проводников с электрооборудованием, отсутствие коррозии, механических повреждений. На доступных участках производится выборочное вскрытие грунта с осмотром состояния горизонтальных полос и мест сварки. Если обнаружено значительное коррозионное повреждение – уменьшение сечения более чем на 25% – требуется замена поврежденного участка.

Термовизионная диагностика в последние годы находит применение для выявления перегревов в местах плохого контакта. Тепловизор позволяет обнаружить участки с повышенным переходным сопротивлением, которые при протекании тока нагреваются сильнее, чем остальные.

### **Перспективные технологии и материалы для систем заземления**

Развитие материаловедения открывает новые возможности для повышения эффективности и долговечности заземляющих устройств. Омедненные стержни, изготовленные методом электролитического осаждения слоя меди толщиной 250–300 мкм на стальной сердечник, обеспечивают коррозионную стойкость, сопоставимую с чисто медными электродами, при существенно меньшей стоимости. Срок службы таких заземлителей в средне-агрессивных грунтах достигает 30–40 лет [7].

Модульные штыревые системы, состоящие из соединяемых между собой секций длиной 1,5 м, позволяют наращивать заземлитель на глубину до

20–25 м без применения тяжелой техники. Это актуально для регионов с высокоомными грунтами, где достижение нормируемого сопротивления традиционными методами затруднено. Электропроводящие смеси на основе графита, бентонита и солей создают вокруг заземлителя зону пониженного удельного сопротивления. Эффект снижения сопротивления может достигать 40–60% по сравнению с установкой электрода без обработки. Однако избыточное применение солевых добавок может ускорить коррозию металлических элементов. Оптимальный состав смеси подбирается экспериментально с учетом химических свойств грунта.

### **Заключение**

Системы заземления рыбообрабатывающих предприятий являются важным элементом обеспечения электробезопасности и надежности функционирования электроустановок.

Анализ показывает, что, эффективность заземляющего устройства определяется не только его конструктивными параметрами, но и качеством монтажа, регулярностью контрольных измерений, своевременным выявлением и устранением дефектов.

Применение современных материалов – омедненных электродов, защитных покрытий, электропроводящих составов – существенно повышает срок службы заземлителей в условиях агрессивных грунтов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой методов непрерывного мониторинга параметров заземляющих устройств с использованием датчиков и систем передачи данных. Это поможет открыть возможности для оптимизации конструкции еще на этапе проектирования, минимизируя затраты и повышая надежность систем электробезопасности.

### **Список литературы:**

1. Никольский О. К., Семичевский П. И. Требования к заземляющим устройствам в контексте электромагнитной совместимости // Ползуновский

вестник. 2012. № 3. С. 184–189. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trebovaniya-k-zazemlyayuschim-ustroystvam-v-kontekste-elektromagnitnoy-sovmestimosti> (дата обращения: 26.04.2026).

2. Киракосян С. А., Галалу В. Г. Помехи по шинам заземления в системах промышленной автоматизации // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2016. № 4 (177). С. 89–101. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pomehi-po-shinam-zazemleniya-v-sistemah-promyshlennoy-avtomatizatsii> (дата обращения: 26.04.2026).

3. Колиушко Д. Г., Руденко С. С. Анализ методов контроля состояния заземляющих устройств действующих энергообъектов на современном этапе // Электротехника и электромеханика. 2019. № 1. С. 61–68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-kontrolya-sostoyaniya-zazemlyayuschih-ustroystv-deystvuyuschih-energoobektov-na-sovremennom-etape> (дата обращения: 26.04.2026).

4. Смирнов О. В., Сухачев И. С. О некоторых особенностях устройства заземления и расчета молниезащиты // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2014. № 2. С. 102–106. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-nekotoryh-osobennostyah-ustroystva-zazemleniya-i-rascheta-molniezaschity> (дата обращения: 26.04.2026).

5. Титков В. В., Косоруков А. В. Влияние конфигурации заземляющего устройства на уровень перенапряжений во вторичных цепях при последующих ударах молнии // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3 (10). С. 115–124. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-konfiguratsii-zazemlyayuschego-ustroystva-na-uroven-perenapryazheniy-vo-vtorichnyh-tsepyah-pri-posleduyuschih-udarah-molnii> (дата обращения: 26.04.2026).

6. Быстров Е. Н., Тихомиров О. И. Вариативный подход к устройству молниезащиты зданий, сооружений и технических объектов // Бюллетень результатов научных исследований. 2016. № 4. С. 114–127. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/variativnyy-podhod-k-ustroystvu-molniezaschityzdaniy-sooruzheniy-i-tehnicheskikh-obektov> (дата обращения: 26.04.2026).

7. Белова Л. А. Система заземления для наземных ветроустановок // Труды Кольского научного центра РАН. 2020. Т. 11. № 4 (91). С. 72–78. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-zazemleniya-dlya-nazemnyh-vetroustanovok> (дата обращения: 26.04.2026).