

Расчёт параметров системы заземления жилого здания

Болтовский Лев Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Приходько Себастьян Николаевич

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является описание методики расчета и непосредственный расчёт параметров системы заземления для жилого здания. В ходе данной работы использованы поисковые, аналитические и вычислительные методы исследования, позволившие определить сопротивление вертикальных и горизонтальных заземлителей, а также проверить соответствие принятой схемы условному нормативному требованию. В результате была описана методика расчётов, получены значения сопротивления заземляющего устройства и предложена структура защитных мероприятий.

Ключевые слова: заземление, заземляющее устройство, электробезопасность, жилое здание.

Calculation of grounding system parameters for a residential building

Boltovskiy Lev Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Prikhodko Sebastian Nikolayevich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to describe the calculation methodology and directly calculate the parameters of a grounding system for a residential building. This work used exploratory, analytical and computational research methods to determine the resistance of vertical and horizontal grounding electrodes and to verify the accepted grounding arrangement. As a result, the calculation methodology was described and the main parameters of the grounding system were obtained.

Keywords: grounding, grounding electrode system, electrical safety, residential building.

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена тем, что система заземления является одним из основных элементов электробезопасности жилого здания. При повреждении изоляции или появлении напряжения на корпусах электрооборудования правильно выполненное заземляющее устройство снижает опасность поражения человека электрическим током и обеспечивает корректную работу устройств защитного отключения. Недостаточное внимание к параметрам заземления может привести к повышению напряжения прикосновения, нестабильной работе защитной автоматики и увеличению риска аварийных ситуаций.

1.2 Обзор исследований

В статье А. А. Полунина [1] рассматриваются типы систем заземления, их преимущества и недостатки, а также значение сопротивления заземляющего устройства для безопасной эксплуатации электроустановок. В работе Е. В. Раубаль [2] отмечается, что выбор системы заземления в сетях до 1 кВ влияет на эффективность мер защиты людей от поражения электрическим током. В статье А. А. Кумейко [3] рассматриваются вопросы электробезопасности жителей многоквартирных домов, включая систему уравнивания потенциалов. Исследование И. А. Бершадского [4] посвящено параметрам устройства защиты при обрыве нулевого проводника и повторному заземлению нуля. В работе А. В. Надольской [5] раскрываются общие вопросы электробезопасности и снижения электротравматизма.

1.3 Цель исследования

Целью исследования является описание методики расчета и непосредственный расчёт параметров системы заземления жилого здания.

2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается условное одноэтажное жилое здание площадью 120 м² с однофазным электроснабжением напряжением 230 В. Для здания принимается система питания TN-C-S с разделением PEN-проводника во вводном распределительном устройстве, установкой главной заземляющей шины и устройством повторного заземления. В работе применён расчётно-аналитический метод, основанный на определении сопротивления одиночного вертикального электрода, сопротивления группы электродов, сопротивления горизонтального соединителя и общего сопротивления заземляющего устройства.

3 Результаты и обсуждение

Для расчёта приняты исходные данные в таблице (табл 1), соответствующие распространённому варианту устройства наружного

контура заземления около жилого здания. Контур выполняется из трёх вертикальных стержневых электродов, соединённых стальной полосой.

Таблица 1 – Исходные данные

Показатель	Значение
Площадь здания	120 м ²
Напряжение сети	230 В
Тип системы	TN-C-S
Грунт	суглинок
Удельное сопротивление грунта ρ	100 Ом·м
Сезонный коэффициент ψ	1,3
Расчётное сопротивление грунта $\rho_{расч}$	130 Ом·м
Количество вертикальных электродов	3 шт.
Длина электрода l	3 м
Диаметр электрода d	16 мм
Глубина прокладки соединительной полосы	0,7 м
Длина горизонтального соединителя	9 м
Полоса стальная	40×4 мм
Допустимое сопротивление для принятой схемы	не более 30 Ом

Расчётное удельное сопротивление грунта определяется с учётом сезонного коэффициента

$$\rho_{расч} = \rho \cdot \psi$$

$$\rho_{расч} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом·м}$$

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя приближённо определяется по формуле

$$R_1 = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot l}{d} \right) - 1 \right)$$

где

$\rho_{расч}$ – расчётное удельное сопротивление грунта, Ом·м

l – длина электрода, м

d – диаметр электрода, м

$$R_1 = \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot 3}{0,016} \right) - 1 \right)$$

$$R_1 = 38,8 \text{ Ом}$$

Так как применяется не один, а три вертикальных электрода, необходимо учитывать коэффициент использования. Для трёх электродов,

размещённых треугольником с расстоянием между электродами около 3 м, принимаем коэффициент использования $\eta = 0,66$.

$$R_B = \frac{R_1}{n \cdot \eta}$$

$$R_B = \frac{38,8}{3 \cdot 0,66} = 19,6 \text{ Ом}$$

Горизонтальный соединитель также работает как заземлитель. Его сопротивление определяется приближённо по формуле

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t} \right)$$

где

L – длина горизонтального заземлителя, м

b – ширина полосы, м

t – глубина прокладки полосы, м

$$R_\Gamma = \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 9} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 9^2}{0,04 \cdot 0,7} \right)$$

$$R_\Gamma = 19,9 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление вертикальной части и горизонтального соединителя определяется как сопротивление параллельно работающих заземлителей

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}$$

$$R_3 = \frac{19,6 \cdot 19,9}{19,6 + 19,9} = 9,9 \text{ Ом}$$

Полученное значение меньше принятого допустимого значения 30 Ом, следовательно, выбранная схема из трёх вертикальных электродов длиной 3 м и соединительной полосы 40×4 мм является достаточной для условного жилого здания. Результаты расчета сопротивления представлены в таблице (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта сопротивления заземления

Показатель	Обозначение	Значение
Сопротивление одного вертикального электрода	R_1	38,8 Ом
Коэффициент использования вертикальных электродов	η	0,66
Сопротивление группы вертикальных электродов	R_B	19,6 Ом
Сопротивление горизонтальной полосы	R_Γ	19,9 Ом
Общее сопротивление заземляющего устройства	R_3	9,9 Ом

Принятое допустимое значение	R _{доп}	30 Ом
Вывод	R _з < R _{доп}	условие выполняется

Для оценки работы защитного отключения рассмотрим напряжение на заземляющем устройстве при токе утечки 30 мА. Такой ток соответствует распространённому номинальному отключающему дифференциальному току УЗО для розеточных групп жилого здания.

$$U_3 = I\Delta n \cdot R_3$$

$$U_3 = 0,03 \cdot 9,9 = 0,30 \text{ В}$$

Полученное значение показывает, что при исправной работе УЗО напряжение на заземляющем устройстве будет небольшим. При этом заземление не заменяет автоматическое отключение питания, а работает совместно с защитными аппаратами: автоматическими выключателями, УЗО и системой уравнивания потенциалов. Защитные мероприятия представлены в таблице (табл. 3).

Таблица 3 – Рекомендуемая структура защитных мероприятий

Элемент	Рекомендуемое решение
Вводное устройство	разделение PEN-проводника на РЕ и N во вводном щите
Главная заземляющая шина	установка ГЗШ с присоединением РЕ-проводников
Контур заземления	3 вертикальных электрода 3 м, полоса 40×4 мм
Соединение с ГЗШ	стальная полоса или медный проводник требуемого сечения
Розеточные группы	УЗО или дифавтомат 30 мА
Вводная защита	противопожарное УЗО 100 мА при необходимости
Система уравнивания потенциалов	присоединение металлических труб, РЕ-проводника и сторонних проводящих частей

Конструктивно контур заземления может быть выполнен в виде равностороннего треугольника со стороной около 3 м. Вертикальные электроды забиваются в грунт так, чтобы верхняя часть находилась ниже уровня земли и была соединена сваркой со стальной полосой. Места сварных соединений после проверки необходимо защитить от коррозии. От контура к вводному устройству прокладывается заземляющий проводник, который присоединяется к главной заземляющей шине. Итоговые параметры представлены в таблице (табл. 4).

Таблица 4 – Итоговые параметры системы заземления

Параметр	Принятое значение
Схема размещения электродов	треугольник
Количество электродов	3 шт.
Длина одного электрода	3 м
Диаметр электрода	16 мм
Соединительная полоса	40×4 мм
Глубина прокладки	0,7 м
Расчётное сопротивление заземления	9,9 Ом
Требование по сопротивлению	не более 30 Ом
Результат проверки	соответствует принятому условию

4 Выводы

В ходе работы выполнен расчёт параметров системы заземления условного жилого здания. Было принято, что заземляющее устройство состоит из трёх вертикальных стальных электродов длиной 3 м, соединённых стальной полосой 40×4 мм. С учётом расчётного удельного сопротивления грунта 130 Ом·м сопротивление одного электрода составило 38,8 Ом, сопротивление группы вертикальных электродов – 19,6 Ом, сопротивление горизонтального соединителя – 19,9 Ом. Общее сопротивление заземляющего устройства составило 9,9 Ом, что меньше принятого допустимого значения 30 Ом. Следовательно, выбранная схема может быть принята для рассматриваемого жилого здания при условии соблюдения требований монтажа, защиты соединений от коррозии и применения защитных аппаратов отключения.

Практическая значимость данного исследования заключается в возможности применения разработанной методики при проектировании и расчёте систем защитного заземления жилых зданий. Представленный алгоритм позволяет на основе ограниченного набора исходных данных определить основные параметры заземляющего устройства, включая сопротивление вертикальных и горизонтальных электродов, общее сопротивление системы заземления и величину напряжения прикосновения.

Библиографический список

1. Полунин А. А. Типы систем заземления, преимущества и недостатки // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–30 мая 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 3310-3317. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24618120> (Дата обращения 23.05.26).
2. Раубаль Е. В. Выбор систем заземления в сетях до 1 кв // Энерго- и ресурсосбережение XXI век: Сборник материалов VII-ой Международной научно-практической интернет-конференции, Орел, 01 марта 2009 года.

- Орел: ООО Издательский дом "ОРЛИК" и К", 2009. С. 51-56. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29419404> (Дата обращения 23.05.26).
3. Кумейко А. А. Баранкин Н. С. Электробезопасность жителей многоквартирных домов вторичного фонда жилья // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2018. №. 3(35). С. 104-106. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36512795> (Дата обращения 23.05.26).
4. Бершадский И. А. Ставничук Д. С. Исследование параметров устройства защиты от обрыва нулевого провода в сети 380 в // Донбасс будущего глазами молодых ученых: Сборник материалов научно-технической конференции, Донецк, 23 ноября 2021 года. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2021. С. 153-158. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47467685> (Дата обращения 23.05.26).
5. Надольская А. В. Тащуян К. Ю. Максимов В. П. Электробезопасность и электротравмы в строительстве // Наукосфера. 2022. №. 3-2. С. 231-237. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48530652> (Дата обращения 23.05.26).