УДК 621.316.99

Корлыханов Егор Андреевич, аспирант
(ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск)
Egor A. Korlykhanov, PhD student
(SUSU (NRU), Chelyabinsk)

ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ 6–35 КВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ГРУНТАХ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

GROUNDING OF ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH A VOLTAGE OF 6–35 KV LOCATED ON SOILS WITH HIGH SPECIFIC RESISTANCE

Аннотация. Систематизированы требования ПУЭ к заземлению электроустановок 6–35 кВ на грунтах с высоким удельным сопротивлением, в том числе на металлургических предприятиях.

Abstract. The Electrical Installation Code requirements for grounding 6–35 kV installations on high-resistivity soils, including metallurgical plants, are systematized.

Актуальность обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок среднего класса напряжения (6–35 кВ) обусловлена, с одной стороны, высокой тяжестью последствий электротравматизма, а с другой специфическими условиями работы таких сетей. Так, доля электротравм в общем объеме производственного травматизма сравнительно невелика (0,5 – 1%), однако по числу травм с тяжелым и смертельным исходом они занимают первое место. Наибольшее количество электротравм приходится именно в сети среднего напряжения, что объясняется их значительной протяженностью и большим числом трансформаторных подстанций 10(6)/0,4 кВ [1]. Особую опасность представляют однофазные замыкания на землю, доля которых в сетях 6–35 кВ достигает 70 % и более [2]. При эксплуатации электроустановок на грунтах с высоким удельным сопротивлением риск поражения электрическим током возрастает из-за возможного повышения напряжения на заземляющих устройствах, превышающего предельно допустимые.

Ключевым параметром, определяющим условия работы заземляющих устройств, является удельное электрическое сопротивление грунта ρ. Под ним понимается электрическое сопротивление, оказываемое грунтом объемом 1 м^3 при прохождении тока от одной грани куба к противоположной [4]. Значение ρ зависит от влажности, температуры, рода грунта и степени его уплотнения [4].

В нормативных документах и научно-технической литературе отсутствует единое определение термина «грунт с высоким удельным сопротивлением». На практике под такими грунтами понимают породы и почвы, удельное электрическое сопротивление которых настолько велико, что достижение нормируемых значений сопротивления заземляющего устройства стандартными методами становится затруднительным или экономически нецелесообразным. В частности, в патентной и технической литературе к грунтам с высоким удельным сопротивлением относят вечномерзлые, каменистые и песчаные грунты с ρ от 400 Ом·м и выше [4]. Согласно ПУЭ [3] (п. 2.5.131), при удельном сопротивлении грунта $\rho >$1000 Ом·м естественная проводимость железобетонных фундаментов не учитывается — это косвенно подтверждает, что именно такие грунты рассматриваются как проблемные для заземления [3].

Для понимания того, какие грунты попадают в категорию «высокого удельного сопротивления», необходимо обратиться к классификации. Удельное электрическое сопротивление различных типов грунтов различается на порядки и определяется их составом, влажностью и температурой.

Таблица 1 – Ориентировочные значения удельного электрического сопротивления грунтов [5]

Тип грунта	Удельное сопротивление ρ, Ом·м
Торф	10–50
Почва (чернозем)	10–300
Глина	8–70
Суглинок	40–150
Супесь	150–400
Песок влажный	130–400
Песок слегка влажный	400–1500
Песок сухой	1500–4200
Гравий, щебень	200–5000
Каменистые грунты	500–800 и выше
Скальные породы (гранит, базальт)	1000–22500

Как видно из таблицы 1, наиболее благоприятными для заземления являются влажные глинистые и черноземные почвы, тогда как сухие пески, гравий, щебень и скальные породы обладают сопротивлением, измеряемым тысячами Ом·м. Именно эти грунты создают основные трудности при проектировании и эксплуатации заземляющих устройств.

Нормативные требования к сопротивлению заземляющих устройств в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью установлены ПУЭ: сопротивление заземляющего устройства должно составлять

$$R \le \frac{250}{I} \qquad (1)$$

но не более 10 Ом, где I – расчетный ток замыкания на землю [3, п. 1.7.96].

При $\rho > 500$ Ом·м допускается увеличивать нормируемое сопротивление в $0{,}002\rho$ раз, но не более чем десятикратно [3, п. 1.7.108]. Однако даже с учетом этого послабления выполнить требования на грунтах с высоким удельным сопротивлением затруднительно, поскольку сопротивление растеканию любого заземлителя прямо пропорционально ρ. Например, одиночный вертикальный электрод длиной 5 м и диаметром 16 мм при $\rho = 2000$ Ом·м имеет сопротивление растеканию около 450 Ом, тогда как допустимое значение с учетом поправки не превышает 40 Ом. Для его достижения потребовалось бы более 20 вертикальных электродов с учетом коэффициента использования, а в скальном или мерзлом грунте их забивка на проектную глубину зачастую невозможна.

Рассмотренная проблема особенно актуальна для металлургических предприятий. Металлургия относится к наиболее энергоемким непрерывным производствам: системы внутреннего электроснабжения заводов включают разветвленные сети 6–10 и 35 кВ, питающие дуговые и индукционные печи, прокатные станы, насосные и компрессорные станции, а также большое число цеховых трансформаторных подстанций. Значительная часть этого электрооборудования эксплуатируется в условиях повышенной опасности: при высокой температуре, наличии токопроводящей пыли и большом количестве металлических конструкций, доступных для прикосновения персонала. При однофазном замыкании на землю на таких объектах высокое сопротивление заземляющего устройства приводит к появлению опасных напряжений прикосновения и шага.

Выводы. Систематизация нормативных требований показала, что на грунтах с высоким удельным сопротивлением стандартными конструкциями заземлителей обеспечить нормируемые значения сопротивления растеканию затруднительно. Наиболее остро эта проблема стоит для металлургических предприятий, площадки которых сложены насыпными техногенными и каменистыми грунтами, а электроустановки 6–35 кВ эксплуатируются в условиях повышенной опасности.

Список литературы

1. Анализ электробезопасности в сетях 6–35 кВ / Р.М. Хамдард, А.Н. Стрюков, Г.А. Теплов, Н.А. Коньков // Аллея науки. – 2020. – Т. 1, № 8 (47). – С. 24–28. – EDN JVPBRK.
2. Дюкин И.Р. Анализ производственного травматизма в электроэнергетике / И.Р. Дюкин, А.И. Сидоров // Знания молодых:

наука, практика и инновации : материалы XXIII научно-практической конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 95-летию Вятского государственного агротехнологического университета, Киров, 28–29 апреля 2025 г. – Киров : Вятский государственный агротехнологический университет, 2025. – С. 52–55. – EDN JPSQUX.

3. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во Проспект, 2020. - 832 с.

4. Коструба С.И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств : учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 166 с.

5. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок: справочник / Р.Н. Карякин. – М. : Энергосервис, 2006. – 520 с.