

«КоммерЦЪ»: методика расчета электролитического заземления — это важно! / важно ли это?

Белов Д.А., Грибанов А.С.

АО «НПО «Бипрон»

sales@npo-bipron.ru

Показатель электрического сопротивления является одним из основных эксплуатационных параметров заземляющего устройства (ЗУ). Он должен быть не выше нормативно установленных значений для конкретного типа объекта. При проектировании электрической установки необходимо правильно определить тип, конфигурацию и сопротивление заземлителя. Точность расчетов зависит от многих факторов: это и достоверность изысканий геолого-электрического строения грунта, и выбор расчетных методов, и квалификация персонала, и многое другое. Настоящая беседа нашего Клуба посвящена именно обсуждению Методики расчета потребности для ЗУ как одному из основных факторов проектного решения. Итак, поехали...

Для цитирования

Белов Д.А., Грибанов А.С. «КоммерЦЪ»: методика расчета электролитического заземления — это важно! / важно ли это? // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 8. С. 169–173.

Неудачи в расчетах устройства заземления могут привести к значительному удорожанию строительства. Как правило, затраты на сооружение объекта возрастают в случае использования избыточных решений по снижению сопротивления ЗУ (излишняя металлоемкость контура заземления), а также при их недостаточной эффективности. В случае если измеренное после монтажа сопротивление устройства оказывается выше нормы, то для его снижения уже на месте проводятся не предусмотренные проектом мероприятия, как следствие, ведущие к превышению утвержденной сметы.

В некоторых случаях при проектировании ЗУ возникают проблемы, связанные с условиями грунтов, которые характеризуются высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС): каменистые почвы, вечная мерзлота, супеси и пр. В этих условиях расчетное сопротивление базовой конфигурации заземляющего контура может быть выше, чем нормативное значение.

Нормативными документами [1, 2] предписывается выполнение ряда технических действий, направленных на снижение сопротивления ЗУ в таких грунтах. В этот перечень входят мероприятия по увеличению площади заземлителя, сооружение выносных или глубинных заземлителей, засыпка траншей с горизонтальными заземлителями глинистым грунтом и др.

Методы снижения сопротивления заземлителя путем замены или специальной обработки грунта в околоэлектродной области с целью уменьшения его электрического сопротивления давно известны (рис. 1).

К примеру, в специальной литературе [3] описан метод с предварительным выкапыванием грунта и его заменой насыпным углем, коксовой мелочью или глиной. При этом УЭС такой засыпки должно быть в 5–10 раз меньше, чем у основного грунта. Согласно расчетам этими мероприятиями возможно снизить сопротивление заземлителя в 2,5–3 раза.

В иностранном издании [9] можно ознакомиться с информацией о способе обработки зоны вокруг электродов минеральными солями. Утверждается, что при химической

обработке почвы УЭС возможно уменьшить от 15 до 90 % в зависимости от вида и текстуры грунта. Химические вещества обычно вносятся способом помещения их в скважину или траншею вокруг электрода. Эффект обработки становится ощутимым через определенный период времени (период стабилизации), который может быть сокращен за счет дополнительной проливки водой.

Недостатком этого способа является то, что эффект по снижению сопротивления проявляется достаточно кратковременно, так как обработка грунта сохраняется около 2–4 лет. При данных способах заземлитель

выполняется из полосовой, угловой или круглой оцинкованной или нержавеющей стали.

Химическая обработка солями, содержащими хлориды металлов, имеет неблагоприятное воздействие на коррозию заземлителей, т.к. ионы хлора активно связываются с содержащимися в стали атомами хрома, вызывая тем самым питтинговую коррозию. Препятствовать этому возможно лишь применяя для электродов материал, который содержится в составе элемента, удерживающий хром в кристаллической решетке-молибден.

В целом, при правильном подходе и верном техническом конструктиве, химическая

Электрод в почве с заменой части грунта на засыпку с низким УЭС или в грунте с химической обработкой

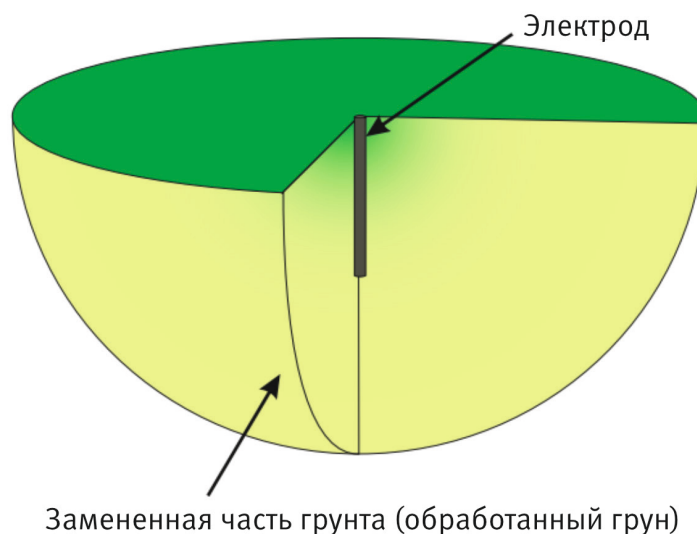


Рис. 1. Электрод в почве с заменой части грунта на засыпку с низким УЭС или в грунте с химической обработкой

обработка почвы — эффективное решение проблемы заземления в высокоомных грунтах и на ограниченных территориях.

Схематическое изображение решения проблемы, связанной с уменьшением сопротивления заземлителей в указанных критических условиях, показано на рисунке 2. Это так называемые электролитические (солевые¹; иногда — активные, химические) заземлители.

Данный заземлитель представляет собой полую перфорированную металлическую трубу, заполненную соляной смесью. При этом в околоэлектродном пространстве замещается сравнительно небольшой объем грунта, в отличие от примера на рисунке 1, который является низкоомным материалом-катализатором — минеральным активатором грунта (МАГ), стабилизирующим сопротивление грунта (смесью, нормализующей заземление).

Далее образующийся в результате увлажнения соляной смеси электролит проникает через перфорацию из заземлителя в катализатор и далее в основной грунт. Суммарное электрическое сопротивление системы заземлитель-МАГ-грунт становится ниже, что ведет к уменьшению общего сопротивления заземлителя.

Из-за особенностей конструкции электрода, химического состава соляного наполнителя и катализатора производители заявляют

о значительном снижении сопротивления таких систем заземления по сравнению с традиционными электродами, установленными без специальной обработки грунта.

Из практики применения подтверждается снижение сопротивления одного электрода в 8–10 раз по сравнению с обычным электродом (традиционным) того же размера, а также существенное уменьшение площади для размещения сложного ЗУ, сформированного из электролитических (солевых) заземлителей со смесями, нормализующими заземление.

Именно эти утверждения, возникшие из более чем 40-летнего опыта иностранных специалистов — праотцев данной технологии, и четвертьвековых инновационных разработок отечественного «Бипрон» и иных производителей в России, породили возникающие противоречия и споры по вопросу выбора формул и методики расчета потребности для ЗУ в электролитике.

Ранее в рамках встреч Клуба «КоммерЦЬ» мы фрагментарно освещали этот вопрос: изучили и оценили конструктивную критику, вскрыли механизмы возможных коммерческих злоупотреблений на данной почве [13, 14], осветили иные смежные вопросы технологии и обратили особое внимание Коллег на необходимость комплексной оценки инноваций [15–17]. В результате (наконец-то!) началась работа государственных структур и глобальных компаний рынка электроэнергетики по легализации и нормативному регулированию применения электролитики на промышленных объектах. И, естественно, единообразие методики расчета потребности становится краеугольным вопросом в данном процессе.

Выбор Методики расчета электролитического ЗУ, приводимый ниже, объединяет в себе опыт, анализ и подход совмещения отечественной и положительной мировой практики применения данной технологии, а также

проверен и подтвержден практикой со значимым периодом референтного применения этого оборудования.

Друзья, вот сейчас особенно внимательно...

Замещение грунта оказывает непосредственное влияние на сопротивление, которое будет препятствовать растеканию тока заземлителя. В большинстве случаев для вертикальных электродов объем замещаемой почвы определяется цилиндром диаметром от 0,15 до 0,60 м с длиной равной $1,1 \cdot l_{\text{э}}$ длине электрода. В случае горизонтальных электродов этот параметр находится в тех же пределах, с длиной равной длине горизонтальной части электрода $l_{\text{г}}$ [4]. В связи с некоторыми особенностями расчета для электродов разного типа (вертикальных и горизонтальных) обоснования сформированы также отдельно.

Расчет сопротивления электролитических (солевых) электродов вертикального размещения со смесями, нормализующими заземление

1. Известна формула расчета сопротивления одиночного заземляющего электрода в виде металлической колонны (трубы), диаметром $d_{\text{э}}$ (м) и длиной $l_{\text{э}}$ (м), в грунте с сопротивлением ρ (Ом), рекомендованная ГОСТ Р 50571.5.54–2013/МЭК 60364-5-54:2011, приложение D.4:

$$R_{\text{зост}} = \frac{0,366\rho}{l_{\text{э}}} \times \lg \frac{4l_{\text{э}}}{d_{\text{э}}}. \quad (1)$$

2. Также применяется формула расчета сопротивления одиночного заземляющего электрода, диаметром $d_{\text{э}}$ (м) и длиной $l_{\text{э}}$ (м), в грунте с сопротивлением ρ (Ом), определенная международным стандартом IEEE Std 80–2000 «Руководство по безопасности при заземлении подстанции переменного тока» (формула 59):

$$R_{\text{IEEE}} = \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{8l_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} - 1). \quad (2)$$

3. Сравним эти две методики для заземлителя условной длины $L = 1$ м и условным диаметром $d = 0,1$ м в грунте сопротивлением ρ .

$$R_{\text{зост}} = \frac{0,366\rho}{1} \times \lg \frac{4 \times 1}{0,1} = 0,59\rho. \quad (1.1)$$

$$R_{\text{IEEE}} = \frac{\rho}{2 \times 3,14 \times 1} (\ln \frac{8 \times 1}{0,1} - 1) = 0,54\rho. \quad (2.1)$$

Из расчетов усматривается, что обе эти формулы (1.1, 1.2) представляют результат с незначительной разницей, однако формула, рекомендованная ГОСТ Р 50571.5.54–2013 / МЭК 60364-5-54:2011, более точна (оптимальнее с позиции электробезопасности).

4. Электролитический заземлитель рассматриваем как многоэлектродный заземлитель, сопротивление которого складывается из:

- сопротивления условного цилиндра (условный заземлитель 1), образованного собственно электродом заземления, диаметром d_1 (м), относительно активирующей засыпки (МАГ), с удельным сопротивлением ρ_2 , уменьшенного на собственное сопротивление цилиндра (условного заземлителя 2), образованного скважиной электрода с активирующей засыпкой (МАГ), относительно

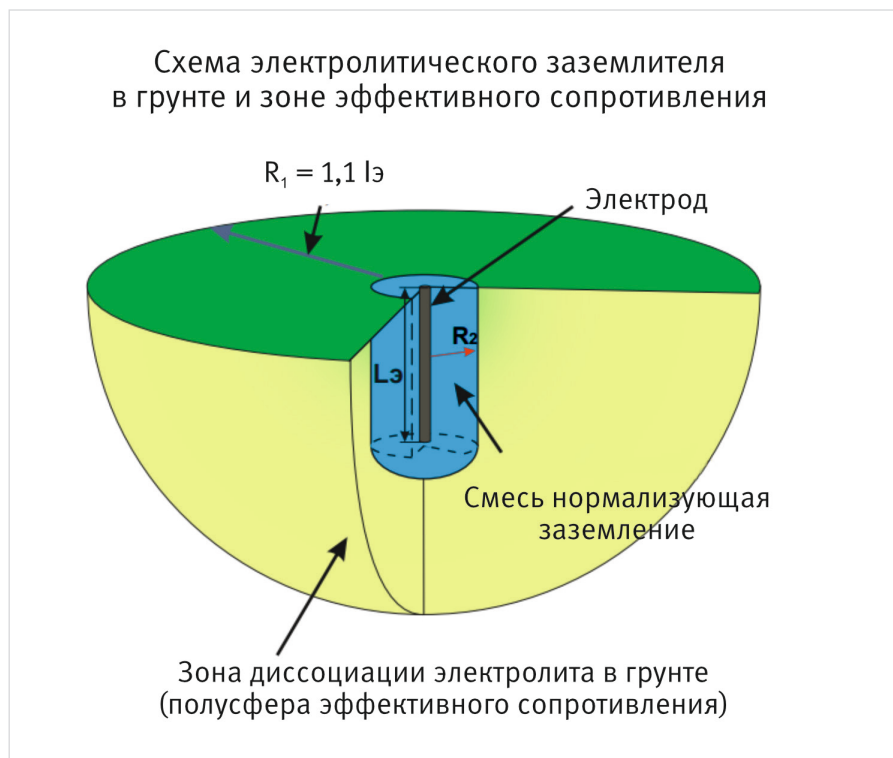


Рис. 2. Схема электролитического заземления в грунте и зона эффективного сопротивления

- сопротивления условного цилиндра (условный заземлитель 2), диаметром d_2 (м), образованного скважиной электрода со смесью, нормализующей заземление (МАГ), с удельным сопротивлением ρ_2 (Ом).

Таким образом, получаем следующую формулу (3) расчета вертикального заземлителя в активизирующей засыпке (МАГ):

$$R_{IEEE1} = \frac{1}{2\pi l_3} (\rho_1 (\ln \frac{8l_3}{d_2} - 1) + \rho_2 (\ln \frac{8l_3}{d_1} - 1) - \rho_2 (\ln \frac{8l_3}{d_2} - 1)). \quad (3)$$

Эта формула уже приведена в IEEE Std 80-2000 «Руководство по безопасности при заземлении подстанции переменного тока» (формула 60) для электрода в засыпке.

Применяя аналогичный подход уже с использованием формулы, рекомендованной в ГОСТ Р 50571.5.54–2013 / МЭК 60364-5-54: 2011, получаем (4):

$$R_{zocm} = \frac{0,366}{l_3} \times (\rho_1 \times \lg \frac{4l_3}{d_2} + \rho_2 \times \lg \frac{4l_3}{d_1} - \rho_2 \times \lg \frac{4l_3}{d_3}). \quad (4)$$

Поскольку на работу электролитического заземлителя оказывает существенное влияние такой эффект, как степень выщелачивания электролита в грунт, насыщая тем самым почву свободными ионами — транспортировщиками электрического заряда, в формулу вводится поправочный коэффициент «С». Это понижающий коэффициент сопротивления электрода вследствие обработки грунта электролитом или «коэффициент просаливания».

Его величина варьируется в пределах 0,2–0,6 и зависит от текстуры грунта, величины естественной влажности, наличия подземных вод (для вертикальных электродов обычно принимается равным 0,2–0,3).

Значение коэффициента C получено эмпирически на основе многолетнего опыта применения электролитических заземлителей в различных условиях как в международном строительстве, так и на объектах в России (более 22 лет). Часть производителей электролитических заземлителей может уменьшить данный показатель до 0,125, тем самым «улучшая» свои расчеты в коммерческих целях. Однако в процессе эксплуатации эта величина оказывается чаще неверной, что сказывается на фактической работе всего ЗУ.

Таким образом, формулы для расчета сопротивления электролитического заземлителя в окончательной редакции выглядят следующим образом (3.1, 4.1):

$$R_{\text{com}} = \frac{0,366 C}{l_3} \times (\rho_1 \times \lg \frac{4l_3}{d_2} + \rho_2 \times \lg \frac{4l_3}{d_1} - \rho_2 \times \lg \frac{4l_3}{d_r}). \quad (3.1)$$

$$R_{IEE1} = \frac{C}{2\pi l_3} (\rho_1 (\ln \frac{8l_3}{d_2} - 1) + \rho_2 (\ln \frac{8l_3}{d_1} - 1) - \rho_2 (\ln \frac{8l_3}{d_2} - 1)). \quad (4.1)$$

Данные формулы учитывают следующие важные переменные в расчете: удельное сопротивление грунта (УЭС), длину заземлителя, диаметры скважины (объем активирующей засыпки МАГ вокруг электрода), диаметр заземлителя.

Расчет сопротивления электролитических (солевых) заземлителей

горизонтального размещения со смесями,
нормализующими заземление

Западные производители, как показала практика, используют одну и ту же формулу для расчета электролитических заземлителей как вертикального ($C = 0,2-0,3$), так и горизонтального размещения, изменяя лишь коэффициент C в большую сторону ($0,35-0,4$).

В нашей практике расчетов применение одной и той же формулы для расчетов вертикального и горизонтального электролитического заземлителя при повышении коэффициента C допустимо, так как учитывает и объем околоэлектродной активирующей засыпки (МАГ), и все остальные переменные. Однако не всегда данный расчет объясним с позиции собственно физических процессов работы горизонтального заземлителя.

Сомнения возникают в том, что размер и форма зоны эффективного сопротивления для горизонтального заземлителя выглядят иначе, чем для вертикального (рис. 3). Данная область находится более в том слое грунта, где расположен заземлитель, и имеет эллиптическую вытянутую форму в горизонтальной плоскости. Из этого следует, что площадь электрического влияния, которое оказывают горизонтально размещенные заземлители друг на друга, гораздо больше чем у вертикально расположенных электродов. Для учета этого показателя была применена формула 6.5, рекомендованная для расчета горизонтальных анодных заземлителей в активизирующей засыпке [11].

$$R_{3,r} = C \times \frac{\rho_1}{2 \times \pi \times l_r} \times \left(\ln \frac{2l_r}{d_1} + \ln \frac{l_r + \sqrt{l_r^2 + 16h^2}}{4h} \right) + (\rho_2 / \rho_1) \times \ln \frac{d_1}{d_2} \quad (5)$$

где ρ_l — удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м; l_r — длина горизонтального заземлителя, контактирующего с грунтом, м; h — глубина прокладки заземлителя, м; d_1 — диаметр заземляющего электрода, м; d_2 — условный диаметр цилиндра, активирующей зацепки, обычно принимается равным ширине траншеи, м.

C — понижающий коэффициент сопротивления электрода вследствие обработки грунта электролитом. Принимается равным 0,35–0,4 в зависимости от текстуры грунта.

В данных приведенных методах расчета учтены все особенности работы электролитических заземлителей, т.к. расчет может быть произведен с любым количеством активирующей засыпки (МАГ), для электродов любой длины и диаметра.

Расчет многоэлектродного заземляющего устройства и коэффициент использования электролитических электродов

Общее сопротивление многоэлектродного ЗУ, состоящего из вертикальных электролитических заземлителей R (Ом), с учетом экранирующего влияния определяют по формуле (6):

$$R_B = \frac{R_{3,B}}{n \times \eta_B}, \quad (6)$$

где $R_{3.B}$ — сопротивление одиночного вертикального заземлителя, Ом; n — количество

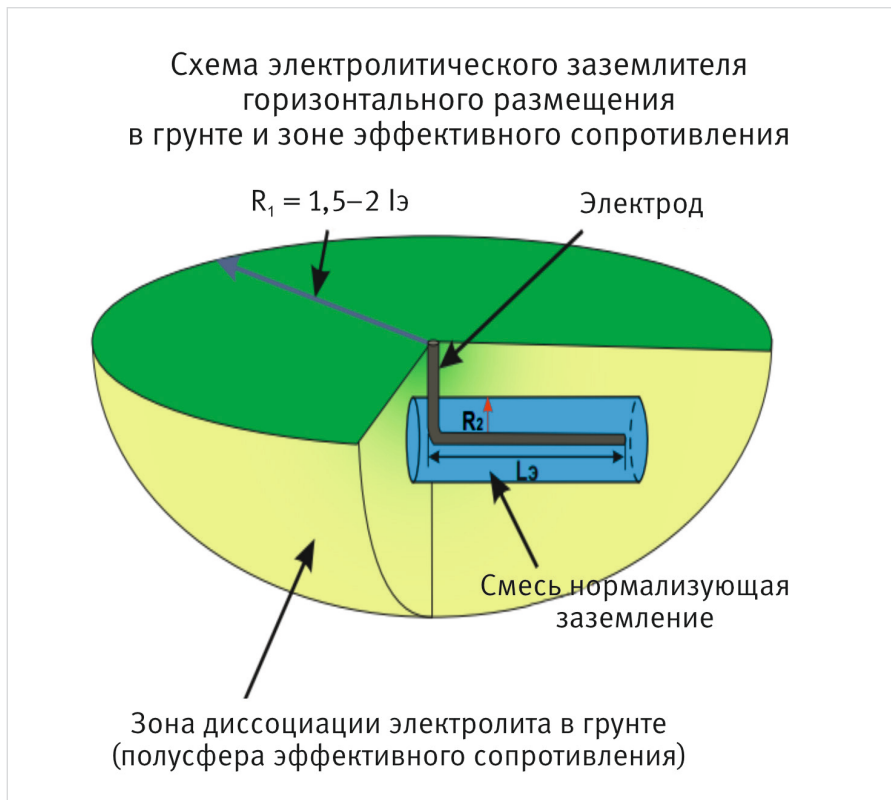


Рис. 3. Схема электролитического заземлителя горизонтального размещения в грунте и зоне эффективного сопротивления

вертикальных заземлителей; η_v — коэффициент использования вертикальных электродов (табл. 1, 2).

Сопротивление горизонтальных заземлителей R_{Γ} (Ом) с учетом экранирующего влияния определяют по формуле (7):

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{3\Gamma}}{(n-1) \times \eta_{\Gamma}}, \quad (7)$$

где $R_{3\Gamma}$ — сопротивление горизонтального электрода без экранирующего влияния, Ом; n — количество горизонтальных заземлителей; η_{Γ} — коэффициент использования горизонтальных электродов, определяемый по таблицам 1 и 2.

Полное сопротивление ЗУ с учетом горизонтальных связей R_3 (Ом) определяют по формулам (8, 9):

- для вертикальных заземлителей:

$$R_3 = \frac{R_v \times R_{3\Gamma}}{R_v + R_{3\Gamma}}, \quad (8)$$

- для горизонтальных заземлителей:

$$R_3 = \frac{R_{\Gamma} \times R_{3\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_{3\Gamma}}, \quad (9)$$

где R_v — сопротивление вертикальных заземлителей, Ом; R_{Γ} — сопротивление горизонтальных заземлителей, Ом; $R_{3\Gamma}$ — сопротивление горизонтальной полосы заземлителя, Ом.

В случае реконструкции части ЗУ или присоединения нового заземляющего устройства к уже действующему в расчете необходимо учитывать значение сопротивления действующего ЗУ. В этом случае общее сопротивление ЗУ определяют по формуле (10):

$$R_{3\text{общ}} = \frac{R_3 \times R_{3\text{д}}}{R_3 + R_{3\text{д}}}, \quad (10)$$

где $R_{3\text{общ}}$ — общее сопротивление объекта, Ом; $R_{3\text{д}}$ — сопротивление действующего ЗУ, Ом.

Друзья, при освещении столь важного вопроса выбора технологии и расчета потребности для ЗУ необходимо обратить Ваше внимание на косвенные, но очень значимые факторы данной инновационной технологии заземления.

Об особенностях эксплуатации электролитических заземлителей

До недавнего времени одним из основных недостатков электролитических заземлителей являлась необходимость в их регулярном обслуживании. Как правило, хлоридный соляной наполнитель, который широко используется и всегда имеется в наличии, способен обеспечить срок эксплуатации заземлителя в пределах 7–10 лет в зависимости от условий применения и влажности грунта. После истечения этого периода соляной наполнитель полностью выщелачивался в околоэлектродное пространство и под влиянием талых и грунтовых вод вымывался из окружающей почвы, способствуя этим увеличению электрического сопротивления ЗУ. Поэтому общее сопротивление устройства могло превышать допустимые значения, и требовалось дополнительное внесение соляных добавок в заземлитель, что увеличивало стоимость эксплуатации.

Встречающееся на рынке нововведение с увеличением объемов хлоридных солей различной степени прессования и кристаллизации вокруг тела электрода не имеет референтных данных. При этом оно существенно ухудшает показатели коррозионной среды

и требует применения нормативов для солончаковых почв при проектировании.

Для гарантированного продления срока эксплуатации электролитических заземлителей специалисты ГК «Бипрон» изменили как конструкцию заземлителя, используя патентованную форму перфорационных отверстий в форме «воронки» с определенным «спиральным» размещением их на электроде, так и состав солей без содержания галогенидов. То же касается и разработки специального состава околоэлектродной активирующей засыпки (МАГ), которая при смешивании с водой образует

нерастворимый электропроводящий гидрогель, не меняющий своих свойств в широком диапазоне температур от -60° до +60 °С и сохраняющий свои свойства в течение всего срока эксплуатации. Такой активатор, помимо низкого удельного сопротивления, прекрасно удерживает влагу вокруг заземлителя. Благодаря внесенным изменениям полностью исключен отравительный эффект морозного пучения грунта, а расчетный срок службы электролитических заземлителей увеличен до 30 лет, что подтверждено лабораторными исследованиями в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина и 22-летним

Табл. 1. Коэффициент использования вертикальных и горизонтальных заземлителей при размещении их в ряд

Количество стержней	Отношение расстояния между стержнями к длине стержня					
	1		2		3	
	η_v	η_{Γ}	η_v	η_{Γ}	η_v	η_{Γ}
1	2	3	4	5	6	7
3	0,78	0,80	0,87	0,92	0,91	0,95
4	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92
5	0,70	0,74	0,81	0,86	0,87	0,90
6	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88
10	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82
20	0,54	0,52	0,70	0,66	0,78	0,75
40	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68

Табл. 2. Коэффициент использования вертикальных и горизонтальных заземлителей при размещении их по периметру замкнутого контура

Количество стержней	Отношение расстояния между стержнями к длине стержня					
	1		2		3	
	η_v	η_{Γ}	η_v	η_{Γ}	η_v	η_{Γ}
1	2	3	4	5	6	7
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64
8	0,58	0,36	0,71	0,43	0,78	0,60
10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56
20	0,5	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45
30	0,47	0,24	0,61	0,3	0,68	0,41
40	0,44	0,23	0,58	0,29	0,66	0,39
50	0,43	0,22	0,57	0,28	0,65	0,37
60	0,42	0,21	0,55	0,27	0,64	0,36
70	0,41	0,2	0,54	0,26	0,63	0,35
100	0,39	0,19	0,52	0,25	0,62	0,34

опытом реальной эксплуатации заземлителей на объектах в Якутии.

Соединение электролитических заземлителей в общий контур

Одной из проблемных зон для электролитических заземлителей является вопрос соединения электрода с магистральной заземляющей шиной (горизонтальным проводником). Обычно в конструкции заземлителя предусмотрен соединительный медный кабель, и на практике его бывает трудно соединить, например, с оцинкованной полосой, которая чаще всего применяется в качестве соединительной шины в контурах заземления. Для этой цели многие производители применяют болтовые зажимы, что не рекомендовано для промышленных объектов п. 1.7.139 ПУЭ (изд. 7), хотя и не запрещено. Вопрос здесь могут вызывать болтовые зажимы, в которых не предусмотрены «меры против ослабления контакта» [1], например, не использованы шайбы типа «гровер». Практика показывает, что не все производители применяют именно такие соединители, а ограничиваются более дешевыми, качество которых отследить в условиях стройплощадки бывает сложно, особенно для многоэлектродных ЗУ. При этом остается неоднозначным регулирование процесса объема и периодичности сезонных проверок болтовых соединений на предмет металлосвязей и увеличения стоимости эксплуатационных расходов.

Бипрон разработал гибкое соединение заземлителя к заземляющей шине с использованием на свободном конце соединительного кабеля отрезка стальной полосы, который в заводских условиях прикреплен термитной сваркой к медному кабелю. Таким образом, при объединении заземлителей в контур свободный конец соединительного кабеля с отрезком полосы можно легко соединить с магистральной шиной при помощи обычной электродуговой сварки с последующей гидроизоляцией сварного шва битумным лаком или холодным цинкованием. Это значительно сокращает трудоемкость при устройстве контура и повышает надежность всех соединений.

Итоги

Подводя итог сегодняшней беседы, отметим следующее.

Методика расчета сопротивления контура из электролитических заземлителей должна учитывать все переменные, которые влияют на работу электрода (особенно коэффициенты «просаливания — C_s » и «использования заземлителей в зависимости от конфигурации контура — n_p и n_n »), и способствовать правильному и честному технико-экономическому обоснованию при выборе системы заземления объекта с учетом эксплуатации оборудования не менее 30 лет. Приведенная Методика является абсолютно референтной, так как соответствует не только отечественной нормативной базе, но также

учитывает опыт международного применения заимствованной и инновационно усовершенствованной технологии электролитического заземления.

Необходимо внимательно и с осторожностью относиться к методам расчета производителей, пытающихся манипулировать данным вопросом и безосновательно уменьшающих объем потребностей электродов для ЗУ в угоду коммерческой выгоде.

Специализированные калькуляторы расчета, значительно облегчающие проектные и эксплуатационные работы, Вы сможете найти на сайте разработчика и производителя ГК «Бипрон» по адресу: <https://npo-bipron.ru> и <https://bipron.com>. Специалисты нашей Группы компаний всегда помогут с консультацией по электролитической технологии, расчетом потребности и проектированием заземляющих устройств.

Желаем всем благожелательного сотрудничества на благо нашей Родины!

Литература

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Новосибирск: Сиб. ун-в. изд-во, 2006.
2. СТО 56947007–29.130.15.114–2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6–750 кВ. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 63 с.
3. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов. М.: Связь, 1971. 68 с.
4. Сравнительный анализ методик расчета сопротивления электролитических заземлителей. Технический бюллетень ТНПО25. АО «Хакель», 18.09.2017. URL: <https://www.hakel.ru/pages.phtml?menu=3&page=124> (дата обращения: 25.10.2024).
5. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М.: Недра, 1968. 192 с.
6. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1987. 399 с.
7. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984. 448 с.
8. ГОСТ Р 50571.5.54–2013/МЭК 60364-5-54:2011 Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов. М.: Стандартинформ, 2014. 50 с.
9. IEEE Std 80–2000 «Руководство по безопасности при заземлении подстанции переменного тока». 2015.
10. РД 153–39.4–039–99 «Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и площадок МН». 1999. 82 с.
11. ГОСТ Р МЭК 62561-7-2016. Компоненты системы молниезащиты. Часть 7. Требования к смесям, нормализующим

заземление. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.

12. IEEE 142-2007 «Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems» (Рекомендуемая практика по заземлению промышленных и коммерческих энергетических систем).
13. Нестеров Н. Сопротивление электролитического заземления. Особенности расчета // Новости Электротехники. 2020. № 1–2. С. 72–77. URL: http://news.elteh.ru/pics/121/Net_121-122_12_Nesterov.pdf (дата обращения: 01.11.2024).
14. «КоммерЦЪ»: как нас могут незаметно обмануть. Разберемся вместе». Нефтегаз Экспо. 2022. № 22. С. 9. URL: <https://energybase.ru/news/articles/kommers-how-we-can-be-imperceptibly-deceived-lets-figure-it-out-together-2022-09-05?ysclid=m3x8tfk4ki114241229> (дата обращения: 01.11.2024).
15. Инновации электролитического заземления: что это и как применить? Энерготех Экспо. 2022. № 22. С. 48–49. URL: <http://eg22.prompages.ru>; <https://energybase.ru/news/articles/innovations-of-electrolytic-grounding-what-is-it-and-how-to-apply-it-2022-08-22> (дата обращения: 01.11.2024).
16. «КоммерЦЪ»: как правильно выбрать электролитическое заземление. Рассудим сообща». Энерготех Экспо. 2023. № 23. С. 56–57. URL: <http://eg23.prompages.ru> (дата обращения: 01.11.2024).
17. «КоммерЦЪ»: разбираемся в ошибках заземления». Энерготех Экспо. 2023. № 24. С. 46–47. URL: <http://eg24.prompages.ru> (дата обращения: 01.11.2024).
18. «КоммерЦЪ»: разбираемся в ошибках заземления // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 4. С. 36–37. URL: <https://2023.runeft.ru/4/bipron> (дата обращения: 01.11.2024).



Бипрон

инновационные технологии
электрозащиты

ГК «БИПРОН»
141591, Московская обл.,
Солнечногорский район,
дер. Бережки, промзона, стр. 26
8 (800) 550 4944
sales@npo-bipron.ru
npo-bipron.ru
bipron.com

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белов Дмитрий Анатольевич, генеральный директор, АО «НПО «Бипрон»
Для контактов: sales@npo-bipron.ru

Грибанов Алексей Сергеевич, технический директор, ООО «Бипрон»