МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЖЕЛЕЗОКРЕМНИСТЫХ АНОДОВ ДЛЯ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Разработаны Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова
Утверждены Главгазом Минжилкомхоза РСФСР 1 июля 1974 г.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Экономическая эффективность катодной защиты подземных металлических сооружений в значительной степени определяется надежной и долговечной работой анодного заземления. К анодным заземлителям для катодной защиты подземных металлических сооружений предъявляется ряд требований: а) материал анодов должен иметь достаточную коррозионную стойкость к электролитическому растворению; б) материал анодов должен иметь низкую стоимость; в) аноды должны обеспечивать стабильную работу заземлителя в течение всего периода эксплуатации катодной защиты; г) технология изготовления анодов должна быть простой; д) материал анодов должен иметь низкое значение удельного электрического сопротивления; е) конструкция анодов должна обеспечивать простоту монтажа и надежность электрических соединений.

Наиболее полно предъявленным требованиям отвечают аноды из железокремнистых сплавов (ферросилиды).

Проведенные исследования и анализ литературных источников [1—5] показывают, что ни один из анодных материалов, экономически доступных для применения в системах защиты наложенным током, не превосходит ферросилид по продолжительности срока службы в пресной воде и в установках с заземленными анодами.

Железокремнистые сплавы являются наиболее перспективным материалом для анодов систем катодной защиты. Отливки из ферросилидов с содержанием кремния 14—18 % [4] стойки почти во всех щелочах и кислотах (за исключением плавиковой и соляной кислоты и щелочей при повышенных температурах).

gost.e-ecolog.ru

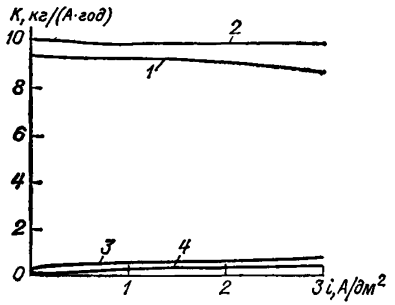

Рис. 1. Зависимость скорости анодного растворения стали марки Ст3 и ферросилида С15 от плотности тока i в водопроводной воде и в 12 %-ном водном растворе NaCl.

1 — Ст3 в водопроводной воде; *2* — Ст3 в 12 %-ном водном растворе NaCl; *3* — С15 в 12 %-ном растворе NaCl; *4* — С15 в водопроводной воде.

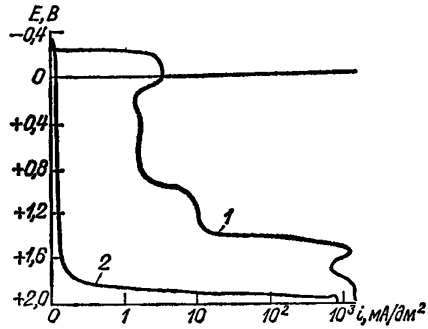

Рис. 2. Потенциостатические кривые ферросилида С15 (*1*) и молибденистого ферросилида С15 Мо (антихлор) (*2*) в 12 %-ном водном растворе NaCl.

Для повышения стойкости ферросилидов в соляной кислоте и щелочах их легируют молибденом (до 4 %).

В нефтяной и химической промышленности ферросилид применяют для изготовления фитингов, запорной арматуры, корпусов насосов, арматуры, циркуляторов, смесителей и другой аппаратуры, работающей в условиях агрессивных сред.

Скорость анодного растворения железокремнистых сплавов с содержанием кремния 14—18 % в грунтовых электролитах зависит как от плотности наложенного тока, так и от агрессивности среды. При плотностях наложенного анодного тока до 0,8 А/дм², практически недостижимой в системах с заземленными анодами, скорость анодного растворения ферросилидов в грунтовом электролите, не содержащем ионов хлора, находится в пределах 0,1—0,25 кг/(А·год).

Анодная растворимость обычных ферросилидов в условиях выделения хлора на их поверхности несколько выше и может достигать 0,5—0,6 кг/(А·год) при тех же плотностях анодного тока. На рис. 1 приведены зависимости скорости анодного растворения стали марки Ст3 и ферросилида С15 от плотности тока в водопроводной воде и в 12 %-ном водном растворе NaCl.

Легирование ферросилидов молибденом весьма существенно снижает их коррозионную активность в средах, содержащих ионы хлора. Введение 4 % молибдена снижает скорость анодного растворения ферросилида в 15 раз [2]. Железокремнистый сплав, содержащий в своем составе молибден, получил название антихлор.

Высокая стойкость ферросилида к анодному растворению объясняется образованием на его поверхности плотной защит-

ной пленки, состоящей из SiO_2, а стойкость антихлора — образованием нерастворимой пленки типа $MoOCl_2$.

В качестве иллюстрации на рис. 2 приведены потенциостатические кривые ферросилида С15 и ферросилида, легированного молибденом (антихлора), в 12 %-ном водном растворе NaCl. Из рисунка видно, что под действием наложенного тока ферроси-

Таблица 1

Состав отечественных железокремнистых сплавов

Элемент	Содержание элементов, %		
	С15	С17	С15 Мо (антихлор)
C	0,5—0,8	0,3—0,5	0,5—0,6
Si	14,5—16,0	16,0—18,0	14,5—16,0
Mo	—	—	3,5—4,0
Mn	0,3—0,8	0,3—0,8	0,3—0,5
P	⩽0,1	⩽0,1	⩽0,1
S	⩽0,07	⩽0,07	⩽0,1

Таблица 2

Физико-механические свойства железокремнистых сплавов

Показатель	С15, С15 Мо	С17
Предел прочности при растяжении $G_в$, кгс/мм²	6—8	5—6
Предел прочности при изгибе $G_{изг}$, кгс/мм²	Не менее 17	Не менее 14
Стрела прогиба l, мм	2,5—4,0	2,0—2,5
Твердость по Бринелю НВ, кгс/мм²	300—400	400—460
Удельная ударная вязкость литых цилиндрических образцов без надреза $a_к$, кг·Ом/см²	0,20—0,25	
Плотность, г/см³	6,9	6,7
Температура плавления, °С	1190	1200
Коэффициент линейного расширения при температуре от 20 до 200 °С	$4{,}7 \cdot 10^{-6}$	
Линейная усадка обычная, %	1,6—2,6	

лид, легированный молибденом, в среде, содержащей хлор-ионы, значительно легче переходит в пассивное состояние, чем ферросилид С15.

Состав и физико-механические свойства отечественных железокремнистых сплавов приведены в табл. 1 и 2.

Отливки из ферросилида очень хрупки, требуют осторожного обращения при монтаже и транспортировке, не поддаются обработке резанием, поэтому последующая механическая обработка может осуществляться лишь с помощью абразивов либо физико-химическими методами.

Благодаря повышенной твердости и коррозионной стойкости ферросилиды обладают абразивной и кавитационной износоустойчивостью.

Теплопроводность ферросилида приблизительно в 2 раза меньше, чем у обычного серого чугуна, и составляет 0,125 *кал/(см·с·°С)*. Вследствие низкой теплопроводности ферросилид весьма чувствителен к резким сменам температур; перепад температур по сечению отливок свыше 30 °С ведет к образованию трещин.

Высокая твердость и хрупкость обусловливают производство ферросилидовых анодов методом литья.

КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОКРЕМНИСТЫХ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Конструкции железокремнистых анодов должны быть простыми в изготовлении, удобными при транспортировке и монтаже, надежными и долговечными в эксплуатации.

Диаметр электродов, как известно, в малой степени влияет на сопротивление растеканию, поэтому наиболее рентабельными являются электроды диаметром 50 мм. Дальнейшее снижение диаметра электрода приводит к резкому увеличению переходного сопротивления и, кроме того, из-за невысоких физико-ме-

Таблица 3

Типоразмеры рекомендуемых железокремнистых электродов

№ п. п.	Тип	Масса, кг	Площадь поверхности, $дм^2$	Номер рисунка	Примечание
1	А	12	19,5	3	Торцовый заземлитель, используемый с наполнителем
2	Б	12	19,5	4	Заземлитель, используемый с наполнителем
3	В	6	10,0	5	Заземлитель, используемый для системы распределительных анодов
4	Г	20	24,0	6	Торцовый заземлитель, используемый без наполнителя
5	Д	22	35,0	7	Заземлитель для глубинных заземлений
6	Е	18	17,0	8	Заземлитель для системы распределительных анодов
7	Ж	35	27,0	9	Заземлитель, используемый без наполнителя
8	З	50	40,0	10	То же
9	И	81	49,0	11	Заземлитель, используемый при высокой плотности тока

Примечание. Заземлители типа Ж, З, И могут быть использованы для защиты от коррозии как подземных, так и морских сооружений.

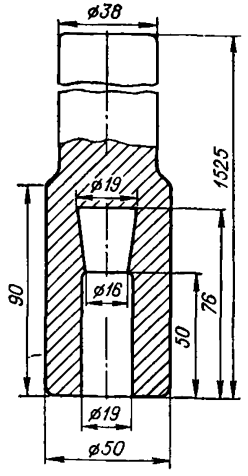

Рис. 3. Электрод железокремнистый, тип. А.

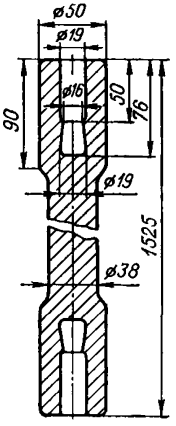

Рис. 4. Электрод железокремнистый, тип Б.

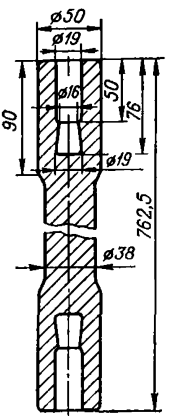

Рис. 5. Электрод железокремнистый, тип В.

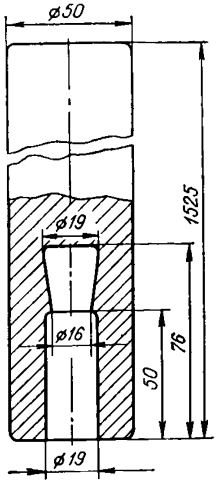

Рис. 6. Электрод железокремнистый, тип Г.

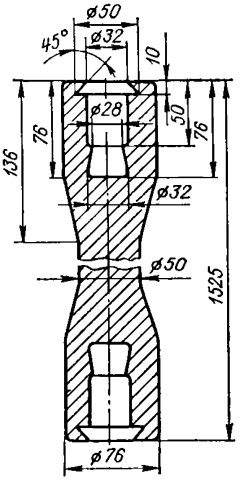

Рис. 7. Электрод железокремнистый, тип Д.

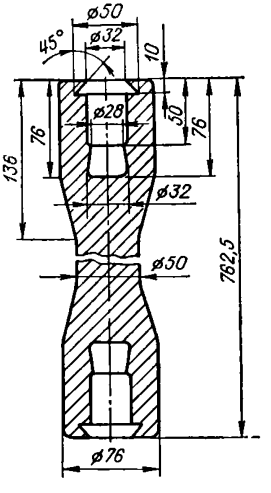

Рис. 8. Электрод железокремнистый, тип Е.

ханических свойств железокремнистых сплавов не обеспечивает достаточной механической прочности электрода. Длина электрода по условиям механической прочности, а также оптимального веса принята равной 760 и 1500 мм.

Наиболее важным вопросом повышения надежности и долговечности анодов из железокремнистых сплавов является создание рациональной конструкции крепления и изоляции токо-

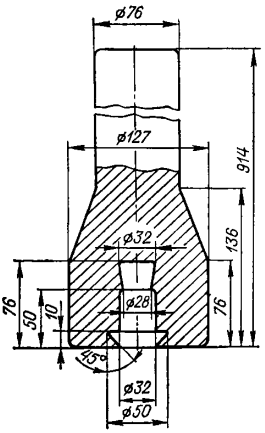

Рис. 9. Электрод железокремнистый, тип Ж.

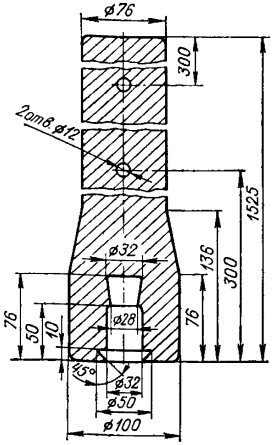

Рис. 10. Электрод железокремнистый, тип З.

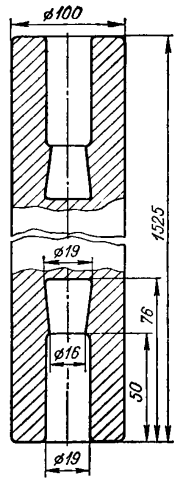

Рис. 11. Электрод железокремнистый, тип И.

ввода. Наиболее рациональным является вариант крепления токоввода внутри анода, заключающийся в заливке провода (кабеля), предварительно установленного в отверстии на торце анода, легкоплавким свинцовым сплавом с последующей герметизацией отверстия и изоляцией узла присоединения.

На рис. 3—11 приведены конструкции железокремнистых электродов. Представленный типаж (табл. 3) распространяется на анодные заземлители из малорастворимых электродов для защиты городских подземных сооружений от коррозии и предусматривает унификацию наиболее прогрессивных конструкций и материалов для анодных заземлителей, обеспечивающих при минимальных капитальных затратах максимальную эффективность катодной защиты.

Представленные конструкции анодов выполнены в виде цилиндрических ферросилидных отливок либо цилиндрических отливок с утолщениями на концах, с одним или двумя глухими отверстиями на торцах электродов для установки токовводов. Наличие двух контактных отверстий позволяет повысить надежность заземлителей, осуществить монтаж электродов встык, использовать анод в случае поломки во время транспортировки или монтажа, а также использовать эти аноды в виде гирлянд.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ ЖЕЛЕЗОКРЕМНИСТЫХ АНОДОВ

1. Основы технологии

Железокремнистый сплав эвтектического состава является наиболее пригодным для литья, так как имеет низкую температуру плавления и небольшой температурный интервал затвердевания. При содержании углерода ниже эвтектического повышается склонность сплава к образованию усадочных раковин и трещин, а жидкотекучесть ухудшается. Сплавы, близкие к эвтектическим, при перегреве металла на 30—60 °С над ликвидусом имеют длину спирали соответственно 515 и 740 мм, т. е. практически такую же жидкотекучесть, как и низколегированный чугун. Поверхность жидкого металла постоянно покрыта окисной пленкой, практически не реагирующей с материалом формы, поэтому отливки из ферросилида получаются чистыми, без следов пригара. Линейная усадка металла находится в пределах 1,6—2,6 %.

Основные особенности ферросилидов: хрупкость и низкие механические свойства, склонность к газонасыщению, пониженная теплопроводность, значительные линейные и литейные усадки, наличие неметаллических включений — определяют особенности технологического процесса производства ферросилидов. Сера, фосфор, алюминий, щелочноземельные металлы являются вредными примесями, снижающими механические свойства, трещиноустойчивость, способствующие газонасыщению сплава.

Большое влияние на качество анодов из ферросилида оказывает температура заливки металла в форму. Высокая температура заливки металла вызывает образование неплотностей, раковин, грубозернистой структуры с включениями, а также появление горячих трещин и термических напряжений в отливках. Низкая температура заливки способствует образованию мелкозернистой плотной структуры с незначительным содержанием неметаллических включений.

2. Требования к шихтовым материалам

Подбору и подготовке шихтового материала для производства ферросилидов должно быть уделено особое внимание. Состав шихты определяется содержанием химических элементов в ферросилидах и главным образом таких, как углерод, марганец, фосфор, алюминий и щелочноземельные металлы, которые находятся в пределах: $C \leqslant 0{,}5$ %; $Mn = 0{,}3—0{,}8$ %; $P \leqslant 0{,}1$ %; $S \leqslant 0{,}07$ %; $Al = 0{,}1$ %, а сумма щелочноземельных элементов не более 0,3 %.

Такому составу отвечают стальные отходы в виде стружки, отходы кузнечно-прессового производства и проката, а также стальной лом. В соответствии с классификацией вторичных чер-

ных шихтовых металлов (ГОСТ 2787—54) в качестве шихты могут быть использованы лом и отходы категорий А-1-I, А-2-I, А-3-I, А-3-II, А-3-III.

Для повышения содержания углерода в сплаве могут быть использованы белые передельные чугуны с низким содержанием примесей и углерода.

Литейные чугуны (ГОСТ 4832—58), содержащие углерод (3,5—4,5 %), марганец (0,5—0,8 %), фосфор (0,1—0,7 %), не могут быть использованы в качестве шихтового материала для производства ферросилидов.

Одним из основных компонентов шихты является ферросилиций. Использование доменного (чушкового) ферросилиция в ис-

Таблица 4

Рекомендуемые составы шихты при применении электротермического ферросилиция

Шихтовые материалы	Марка	ГОСТ	Содержание, %, к массе заливки		
			45 % Si	75 % Si	90 % Si
Ферросилиций, 45 %-ный	Си45	1415—49	33		
Ферросилиций, 75 %-ный	Си75	1415—49		20	
Ферросилиций, 90 %-ный	Си90	1415—49			16
Чугун передельный	ПВК-2, ПВК-3, ПВД-2, ПВД-3, М-1, М-2, Б-2, КК, КД-1, КД-2 (категория 1 класса А)	805—57	13	13	13
Стальной лом	Любых марок углеродистых качественных сталей и инструментальных углеродистых сталей	4813—49	54	67	71

ходном виде невозможно из-за повышенного содержания углерода, марганца и фосфора. В качестве шихтовых материалов может быть применен электротермический 45-, 75- и 90 %-ный ферросилиций (ГОСТ 1415—49), причем предпочтительнее применять ферросилиций двух последних видов, которые содержат значительно меньшее количество вредных примесей (табл. 4).

Непременное требование к шихтовым материалам — их внешняя чистота. Загрязненные материалы должны быть очищены от масла, ржавчины, мусора, земли и т. п. Шихтовые материалы требуют тщательного отбора, прокалки, сортировки и подготовки.

Расчет шихты производится на 15 % кремния. Рекомендуемое содержание углерода 0,4—0,6 %.

3. Металлургический процесс производства ферросилидов

Составом шихты для производства ферросилидов определяется тип плавильных агрегатов. Для выплавки ферросилидов могут быть использованы электродуговые сталеплавильные, индукционные типа ИСТ или ИЧТ, вакуумные печи.

Электродуговые сталеплавильные печи наиболее часто применяются при производстве ферросилидов. Они отличаются экономичностью и позволяют с достаточной точностью выдерживать температурные и шлаковые режимы.

Индукционные печи высокой и повышенной частоты наиболее перспективны по технологическим характеристикам.

Вакуумные печи позволяют получать ферросилид высокого качества вследствие ускоренной дегазации сплава, сочетающейся с процессом рафинирования за счет восстановления окисных соединений углерода, прежде всего кремнеземов.

Высокое качество ферросилидных отливок может быть достигнуто при условии низкой газонасыщенности сплава и высокой чистоты шихтового материала, поэтому в течение всего металлургического процесса необходимо постоянно проводить рафинирование и дегазацию сплава. Металлургический процесс производства ферросилидов должен осуществляться с периодическим контролем и корректировкой шихты.

Последовательность загрузки шихты в тигель следующая. Сначала в тигель загружают ферросилидовый лом от предыдущих плавок, передельный чугун. Затем в расплавленный металл вводится стальной лом и ферросилиций. Выпускают сплав из печи при температуре 1450—1500 °С. Ковш для заливки ферросилида перед заполнением расплавленным металлом тщательно просушивают.

Отливку ферросилидовых анодов целесообразно производить в земляную форму по-сырому. При изготовлении форм особенных требований к формовочным смесям не предъявляется. Влажность формовочных смесей для ферросилидного литья огра-

Характеристика формовочной смеси

Отработанная смесь, мас. %	91—93
Свежий песок и глина, мас. %	6—10
Каменноугольная пыль, мас. %	0,3
Глинистые составляющие, мас. %	8—10
Влажность, %	2—3
Газопроницаемость в сыром состоянии, ед.	50—70
Зерновой состав	0,25
Предел прочности на сжатие, кгс/см^2	0,3—0,5

Характеристика стержневой смеси

Отработанная смесь, мас. %	30—35
Кварцевый песок (2К025А) мас. %	61—67
Глина, мас. %	3—4
Крепитель СП (или КТ) ССБ, мас. %	2—4
Влажность, %	2—3
Глинистые составляющие, мас. %	6—8

ничена 2—3 %; более высокая влажность смеси вызывает газонасыщенность сплава.

Технологический процесс формовки для ферросилидного литья такой же, как для чугунного и стального.

Возможна отливка анодов из ферросилида в постоянную металлическую форму — кокиль. При литье в кокиль при быстром охлаждении сплава газы, растворенные в металле, не успевают выделиться из расплавленного металла, поэтому ферросилидовое кокильное литье отличается повышенной прочностью и плотностью. Кокиль же может быть выполнен как с горизонтальным, так и с вертикальным разъемом. В кокиле необходимо предусматривать литейные уклоны, исключающие заклинивание отливки в момент удаления ее из кокиля.

Трещиностойкость кокильных отливок выше, чем отлитых в земляную форму.

Удаление отливок из формы должно производиться до провальной (вибрационной) решетки. Извлечение отливок при высокой температуре ведет к возникновению термических напряжений и появлению холодных трещин, поэтому отливки следует медленно охлаждать в форме до 100 °С. Выбивку отливок необходимо выполнять очень осторожно.

С целью снятия внутренних напряжений рекомендуется осуществлять термообработку ферросилидовых анодов. Режим отжига ферросилида с начальной температурой 10—20 °С следующий:

нагрев от 20 до 600 °С со скоростью 75—100 °С/ч;
нагрев от 600 до 800 °С со скоростью 75—100 °С/ч;
выдержка при 800—850 °С в течение 20 ч;
охлаждение вместе с печью до 200—300 °С, далее на воздухе.

4. Требования к отливкам анодов

Изготовленные аноды должны соответствовать чертежам. Отливки не должны иметь острых углов и резких переходов от одного сечения к другому. Отливки не должны иметь трещин, раковин, расслоений, гнездообразных выделений графита, пористости.

Зачистка ферросилидовых анодов осуществляется наждачным кругом, а удаление литников — обрезным кругом.

Приемка отливок должна производиться по внешнему виду, размерам и химическому составу. Отливки должны иметь товарный вид и клеймо ОТК. Бракованные аноды возвращаются в переплавку.

5. Упаковка и транспортировка железокремнистых электродов

Специфические свойства ферросилидового литья — низкая механическая прочность и высокая хрупкость — обусловливают определенные требования к их транспортировке. При погрузоч-

ных работах и монтаже необходимо очень осторожное обращение с анодами, нельзя бросать их и допускать резких ударов.

Транспортировку анодов рекомендуется осуществлять в упакованном виде. Упаковка анодов должна производиться на заводе-изготовителе в деревянные ящики. Аноды массой 6—22 кг могут быть упакованы в деревянные ящики в один ряд по пять анодов в каждом ящике. Конструкция упаковочных ящиков должна обеспечивать надежное закрепление анодов. Аноды длиной 1500 мм должны опираться не менее чем на три точки. Аноды 35—81 кг должны упаковываться в индивидуальные деревянные ящики.

Ящики с анодами должны быть промаркированы с указанием завода-изготовителя, типа анодов, их количества.

В отдельных случаях допускается транспортировка ферросилидовых анодов по шоссейным дорогам без специальной упаковки. Аноды загружают на дно кузова автомобиля в один ряд и перекладывают досками. Водитель автомобиля получает специальный инструктаж о характере и специфических свойствах груза.

Транспортировка анодов на автомобилях по грунтовым дорогам и по бездорожью без специальной упаковки не разрешается.

Транспортировка железокремнистых анодов по железной дороге осуществляется в деревянных ящиках, устанавливаемых в контейнер или на грузовую платформу.

КРЕПЛЕНИЕ, ГЕРМЕТИЗАЦИЯ И ИЗОЛЯЦИЯ ТОКОВВОДОВ

Одним из наиболее важных вопросов повышения надежности и долговечности анодов из железокремнистых сплавов является создание надежной конструкции крепления и изоляции токоввода.

Материалы, применяемые для крепления, герметизации и изоляции токоввода, а также наружная изоляция проводов и кабелей должны быть устойчивы к газообразным продуктам электролиза (O_2, Cl). В качестве изоляционных материалов могут быть использованы фторопласт, полиэтилен, поливинилхлорид, эпоксидные смолы.

Применение битумных мастик, герметизирующих паст типа УС-65, тиоколовых герметиков для изоляции токовводов недопустимо, поскольку они подвержены сильной деструкции и теряют изоляционные свойства при длительном пребывании в грунтовом электролите в процессе эксплуатации анодного заземления. Контактные соединения анодов с проводом (кабелем) рекомендуется выполнять в специально оборудованных мастерских, а не в полевых условиях.

Основной метод крепления токоввода в анодах из ферросилида состоит в заливке провода (кабеля), предварительно установленного в отверстие на торце анода, расплавленным свинцом.

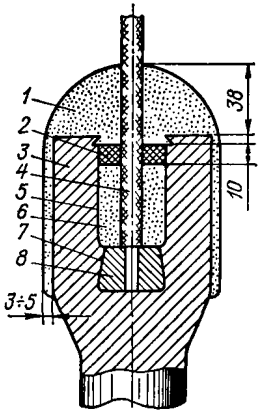

Рис. 12. Узел подключения провода (кабеля) к железокремнистому электроду.

1 — герметизирующая крышка из эпоксидной смолы ЭД-16; *2* — шайба из фторопласта (ГОСТ 10007—62); *3* — железокремнистый электрод; *4* — кабель ВРГ 1×10 (ГОСТ 433—58); *5* — цилиндрическое отверстие; *6* — эпоксидная смола ЭД-16; *7* — конусообразная выемка; *8* — свинец (ГОСТ 3778—65).

На рис. 12 показан анод *3* из ферросилида, имеющий цилиндрическое отверстие *5* на торце, переходящее в конусообразную выемку *7*. Перед началом операций, связанных с установкой токоввода, все изолируемые поверхности анода должны быть очищены от грязи и обезжирены ацетоном. Конец кабеля (провода) с гибкой медной жилой *4* зачищают от изоляции на длину выемки и тщательно облуживают припоем ПОС-30 (ГОСТ 1499—54). Затем облуженный конец провода (кабеля) устанавливается по центру конусообразной выемки, и выемка заливается расплавленным свинцом или любым олово-свинцовым припоем. После затвердевания свинца производят чеканку образовавшейся свинцовой пробки *8* с целью создания надежного электрического контакта между затвердевшим свинцом и телом анода. Отверстие *5* заливают эпоксидным составом *6* для изоляции электрического соединения от внешней среды. С целью обеспечения дополнительной герметичности соединения сверху в выемку *5* впрессовывается шайба *2* из фторопласта, полиэтилена или винипласта. Толщина шайбы около 10 мм, наружный и внутренний диаметры должны обеспечивать плотную посадку шайбы в отверстие *5* с одновременным обжатием провода (кабеля) *4*. Окончательная герметизация узла достигается за счет крышки *1*, длина которой несколько больше, чем длина отверстий *5* и *7*. Крышка увеличивает срок службы соединения анод — кабель, увеличивая тем самым срок службы анода. Крышка выполняется из эпоксидной смолы. Эпоксидный состав заливается в предварительно установленную на конце анода форму. Форма может быть выполнена из любого удобного материала, в виде картонной чашки, полиэтиленового колпачка. Возможно использование металлических литых форм. Изолируемая поверхность анода должна быть тщательно очищена на наждачном круге от окалины и обезжирена ацетоном для обеспечения хорошей адгезии эпоксидного состава к поверхности анода.

Перед отправкой железокремнистых анодов с установлен-

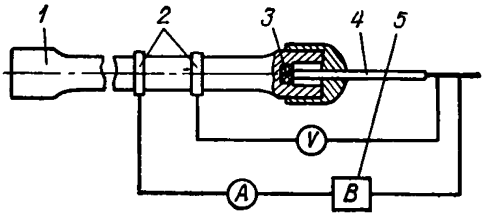

Рис. 13. Схема измерения контактного сопротивления токоввода на железокремнистом электроде.

1 — железокремнистый электрод; *2* — кольцеобразные контакты; *3* — токоввод; *4* — провод (кабель); *5* — выпрямитель с плавной регулировкой напряжения.

ными токовводами к месту монтажа необходимо убедиться в исправности электрических контактов по схеме, представленной на рис. 13. Значение сопротивления измеряется методом вольтметра и амперметра. Измеренное сопротивление практически должно равняться сопротивлению подключенного провода (кабеля). С целью определения надежности работы контакта в процессе длительной эксплуатации при работе анодов в системах катодной защиты токовая нагрузка при испытаниях принимается равной 10—15 А. Длительность испытания под нагрузкой не менее 10 мин.

Во многих случаях требуется изоляция соединения анодов встык. Так как аноды выполняются из хрупкого железокремнистого сплава, то при необходимости иметь анод длиной более 1500 мм его трудно будет отлить, а транспортировка такого анода вызовет большие трудности.

Ферросилидовые аноды не поддаются сварке, поэтому там, где по требованиям эксплуатации необходимы аноды длиной более 1500 мм, прибегают к соединению анодов встык (рис. 14).

Два железокремнистых анода *1* и *2* с глухими отверстиями *3* и *4* соединены концами при помощи стальной шпильки *5* с резьбой. В отверстия *3* и *4* обоих анодов помещают стальные вкладыши *6* с резьбовыми отверстиями под шпильку, а кольцевой зазор между стенками отверстий и вкладыша заливают расплавленным свинцом *7*. Для обеспечения надежного электрического контакта между вкладышем и телом анода заливку свинца производят небольшими порциями с последующей чеканкой свинца, расположенного в кольцевом зазоре. Такая последовательность крепления вкладыша в отверстии анода обеспечивает хороший электрический контакт и высокую механическую прочность.

Между торцами анодов помещается прокладка *8* из коррозионно-стойкого материала, такого, как фторопласт, полиэтилен, поливинилхлорид. Прокладка крепится к торцам анода на эпоксидном составе *9,* заполняющем все выемки и шероховатости поверхности анодов и препятствующем проникновению влаги. Нанесение эпоксидного состава для крепления прокладок должно осуществляться непосредственно перед свинчиванием анодов. Аноды свинчиваются резьбовой шпилькой так, чтобы прокладка *8* была несколько сжата.

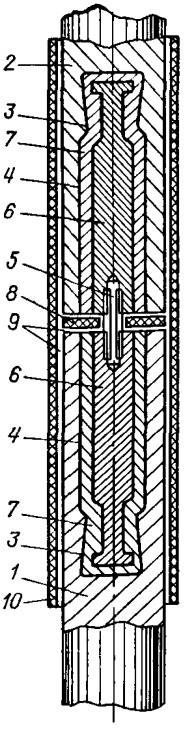

Рис. 14. Герметизация и изоляция электродов встык.

1, 2 — железокремнистые электроды; *3, 4* — глухие отверстия; *5* — стальная шпилька; *6* — стальные вкладыши; *7* — свинец (ГОСТ 3778—65); *8* — прокладка (фторопласт ГОСТ 10007—62); *9* — эпоксидная смола ЭД-16; *10* — липкая лента полихлорвиниловая (МРТУ 6—05—1040—67).

Чтобы защитить это соединение от влаги и химического воздействия других веществ, место стыковки анодов изолируется двухслойным покрытием из полихлорвиниловой ленты (МРТУ 6—05—1040—67). Перед нанесением липкой полихлорвиниловой ленты место изоляции анодов очищают от окалины, земли, пыли и покрывают эпоксидной грунтовкой.

Как видно из предыдущих рекомендаций по изоляции и герметизации электрических соединений железокремнистых электродов, в качестве одного из основных изоляционных материалов используется эпоксидная смола. Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией, коррозионной стойкостью, большой механической прочностью и, кроме того, они являются электрически изоляционным материалом. Наиболее высокие результаты по изоляции и герметизации токоввода могут быть получены при применении эпоксидных составов на основе эпоксидной смолы ЭД-16.

В набор синтетических материалов для выполнения работ по изоляции и герметизации токовводов входят: эпоксидная смола ЭД-16 (ГОСТ 10587—72), полиэтиленполиамин (ТУ 6—02—594—70), дибутилфталат (ГОСТ 8728—66).

Состав на основе эпоксидной смолы приготовляется по следующему рецепту (массовые части): эпоксидная смола ЭД-16—100, дибутилфталат — 10, полиэтиленполиамин — 12.

Банку с эпоксидной смолой помещают в сосуд с водой и нагревают до 60—70 °С, после чего отбирают необходимое количество смолы по массе. В отобранную смолу вводят небольшими дозами, согласно рецептуре, пластификатор — дибутилфталат, при этом смесь тщательно перемешивают в течение 5 мин. Перед применением состава в смесь вводят небольшими дозами, согласно рецептуре, отвердитель — полиэтиленполиамин и тщательно перемешивают смесь в течение 5 мин.

После введения полиэтиленполиамина состав должен быть использован в течение 20—30 мин. При приготовлении состава необходимо строго соблюдать дозировку. Для достижения достаточной твердости требуется от 1 до 2 ч при 20 °С. До полного отвердения состава требуется 72 ч при 10 °С. Поверхность состава не должна иметь пор, трещин и отслаиваний от металлической поверхности анода.

При работе с эпоксидными смолами должны соблюдаться

основные требования техники безопасности. Все операции, связанные с отвешиванием и разогревом эпоксидной смолы и отвердителей, приготовлением состава, следует проводить в вытяжном шкафу или на рабочем месте с местным отсосом воздуха. Емкости с материалами должны закрываться герметично. Работы по герметизации и изоляции токовводов анодов из ферросилида с применением составов на основе эпоксидных смол проводят в помещении, имеющем приточно-вытяжную вентиляцию, и выполняются специально подготовленными работниками, прошедшими медицинский осмотр и инструктаж по технике безопасности и производственной санитарии.

Рабочие места на верстаке необходимо покрывать бумагой, которую после окончания работы следует уничтожить. Рабочие должны иметь защитную спецодежду (халат или фартук, нарукавники, хлопчатобумажную шапочку или косынку, перчатки из резины или полиэтилена).

Перед началом работы кожу рук необходимо смазывать тонким слоем мыльной пасты. Работающие с эпоксидной смолой должны в течение рабочего дня периодически мыть руки и лицо теплой водой, вытирая их полотенцем. Участки кожи рук, на которые попали смола, полиэтиленполиамин и составы, необходимо обмыть теплой водой с мылом и натереть их мыльной пастой. Категорически запрещается курить и принимать пищу во время работы.

Предельно допустимой концентрацией паров летучих веществ, выделяющихся из эпоксидных смол, является такая концентрация, при которой содержание этилхлоргидрина составляет 0,001 мл/л.

ИЗОЛЯЦИЯ И ГЕРМЕТИЗАЦИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДНИКОВ

Железокремнистые аноды, используемые для монтажа анодных заземлителей, имеют ограниченную длину кабельных выводов, поэтому надежность всей конструкции заземлителя в целом определяется надежностью изоляции электрических соединений проводников, идущих от отдельных анодов к основной кабельной магистрали. Электрическая изоляция мест сочленения проводников должна иметь достаточную механическую прочность, влагостойкость, хорошие изоляционные свойства.

На рис. 15 показан узел электрического соединения кабельного вывода от железокремнистого электрода с основной кабельной магистралью. Надежная изоляция и герметизация узлов достигается за счет применения стандартного фитинга типа ФТ-20.

Кабель *4*, подключенный к положительному полюсу катодной станции, в местах подсоединений проводов (кабелей), идущих

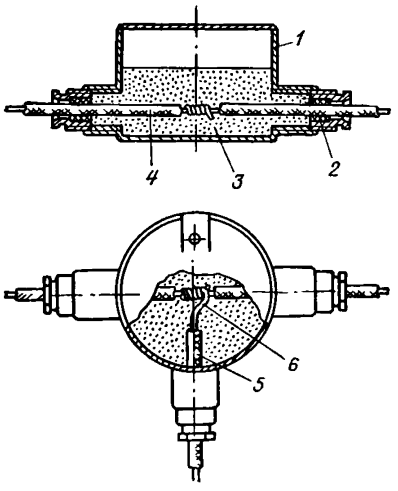

Рис. 15. Изоляция и герметизация узла электрического соединения кабельного вывода от железокремнистого электрода с основной кабельной магистралью.
1 — фитинг ФТ-20; *2* — сальник У-50; *3* — эпоксидная смола ЭД-16; *4* — кабель АВРГ 1×10 (ГОСТ 433—58); *5* — кабельный вывод от железокремнистого электрода; *6* — контактное соединение.

от железокремнистых электродов, зачищают от изоляции, и устанавливают фитинги *1*. Кабель *4* соединяется с проводником *5* внакрутку, которая затем паяется припоем ПОС-30 (ГОСТ 1499—54), если соединяются два медных проводника.

В случае соединения медного проводника, идущего от анода, с алюминиевым кабелем применяется припой для пайки алюминия с медью — П250А, П300А в соответствии с нормалью электротехники ОАА.614.017—67.

Выход кабелей (проводов) из фитинга герметизируется сальниками *2* типа У-50, которые имеют наружную резьбу и выкручиваются в фитинг.

Окончательная герметизация и изоляция узла достигается путем заливки фитинга эпоксидным составом на основе эпоксидной смолы *3* (ЭД-16, ЭД-6). Защитная крышка фитинга должна быть установлена до начала затвердевания эпоксидного состава.

При выполнении множества последовательно расположенных Т-образных соединений главные магистральные проводники не должны разрезаться.

Описанная конструкция узла изоляции и герметизации проводников обладает достаточной механической прочностью и герметичностью и может быть использована как при установке поверхностных анодов, так и при монтаже глубинных анодных заземлителей.

МОНТАЖ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОКРЕМНИСТЫХ АНОДОВ

Все работы по строительству заземлителей из железокремнистых электродов должны осуществляться согласно прилагаемым к проекту чертежам под наблюдением опытного и квалифицированного специалиста. Отклонения от проекта должны быть согласованы с соответствующей проектной организацией.

Перед началом монтажа заземлители из железокремнистых анодов должны быть тщательно осмотрены для того, чтобы убедиться в исправности электрических соединений и целостно-

сти самих анодов. Особое внимание следует уделить осмотру мест крепления токоввода и кабельных линий. Всякие повреждения изоляции токоввода, проводов и кабелей недопустимы.

Железокремнистые аноды могут использоваться при сооружении как поверхностных, так и глубинных анодных заземлителей в самых различных условиях. Наиболее важными из них являются следующие:

а) в плотной засыпке из коксовой мелочи;

б) в засыпке из коксовой мелочи, либо недостаточно утрамбованной, либо не полностью окружающей анод;

в) в болотистых местностях, где засыпка невозможна;

г) в тех условиях, где засыпку не предусматривают умышленно;

д) при погружении в воду у речных переходов;

е) в почвах с высоким содержанием сульфатов или других солей.

В уплотненной коксовой засыпке сопротивление относительно земли единичного железокремнистого электрода такое же, как и любого другого анода в этих условиях. Это значит, что сопротивление растеканию определяется геометрическими размерами уплотненной засыпки, ферросилидовый анод служит только для установления контакта между анодом и коксовой мелочью.

При отсутствии засыпки максимальная плотность анодного тока может быть значительно превышена при изменении окружающих условий. Однако такое обстоятельство для железокремнистых анодов несущественно, поскольку для них ограничений по току практически не имеется. Это обеспечивает самую экономичную установку независимо от наличия или отсутствия засыпки.

1. Монтаж поверхностных заземлителей из железокремнистых анодов

Существует несколько способов установки ферросилидовых анодов при монтаже поверхностных заземлителей. Аноды можно устанавливать с горизонтальным и вертикальным размещением электродов.

На рис. 16 показана конструкция анодного заземлителя с горизонтальным размещением электродов. Для установки анодов в горизонтальном положении роют траншею глубиной 1,0—2,5 м. Глубина траншеи определяется максимальной глубиной промерзания грунта для данной местности.

Ширина траншеи на нижней отметке составляет 0,3—0,5 м, а на верхней 0,8—2,5 м в зависимости от угла естественного откоса грунта. Длина траншеи определяется числом устанавливаемых электродов. В случае применения коксовой засыпки ее размещают ровным слоем толщиной 0,1 м по дну траншеи. Этот слой выравнивается и трамбуется. Затем вдоль траншеи укладываются железокремнистые аноды на расстоянии 3—5 м друг

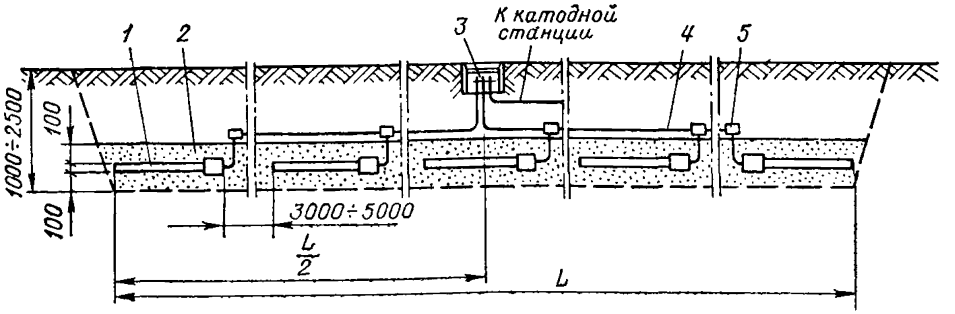

Рис. 16. Горизонтальное анодное заземление из железокремнистых электродов.
1 — железокремнистый электрод; *2* — коксовая мелочь (ГОСТ 11255—65); *3* — контактное устройство; *4* — кабель АВРГ 1×10 (ГОСТ 433—58); *5* — фитинг ФТ-20.

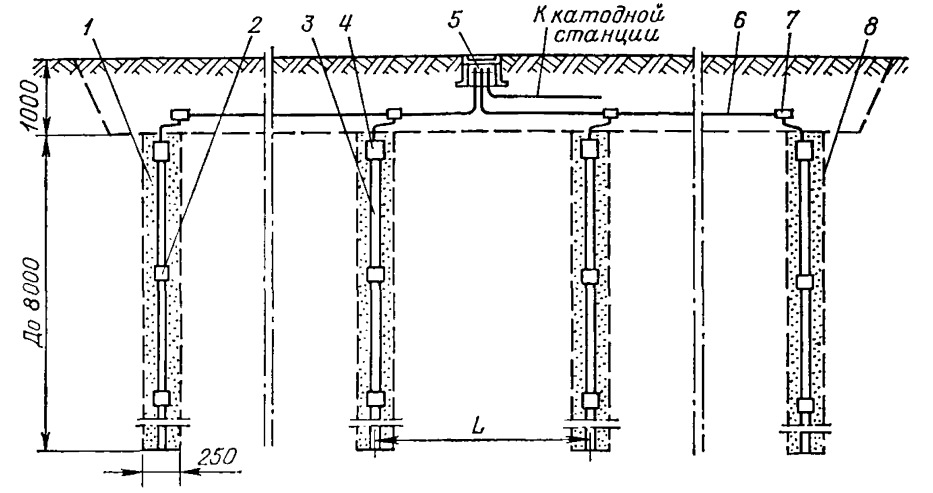

Рис. 17. Поверхностное анодное заземление с вертикальным размещением железокремнистых электродов.
1 — коксовая мелочь (ГОСТ 11255—65); *2* — изоляционное соединение встык; *3* — железокремнистый электрод; *4* — токоввод с кабельным выводом; *5* — контактное устройство; *6* — кабель АВРГ 1×10 (ГОСТ 433—58); *7* — фитинг ФТ-20; *8* — буровая скважина.

от друга, которые сверху засыпаются слоем коксовой мелочи толщиной не менее 0,1 м с последующей трамбовкой. Если аноды устанавливаются без коксовой мелочи, то они засыпаются глинистым грунтом. Электрические подсоединения кабельных выводов от электродов к основной кабельной магистрали осуществляются в специальных фитингах (см. рис. 15).

Конструкция анодного заземления с вертикальной установкой железокремнистых анодов показана на рис. 17. Для монтажа анодов в вертикальном положении бурят скважину глубиной до 10 м и диаметром до 0,25 м. В каждую скважину опускается до пяти железокремнистых анодов. При вертикальной установке железокремнистых анодов изоляция соединений выполняется встык. Электрическая изоляция и конструкция крепления железокремнистых анодов встык показаны на рис. 14.

После установки анодов на проектную отметку скважина заполняется коксовой мелочью или глинистым буровым раствором. Применение коксовой мелочи может быть вызвано требованиями уменьшения сопротивления растеканию анодного заземления, а также требованиями, связанными с облегчением дренажа газообразных продуктов электролиза.

Соединение электрических выводов от вертикальных анодов с основной кабельной магистралью осуществляется с помощью фитингов, которые устанавливаются в предварительно вырытой траншее вдоль группы вертикальных анодов. При рытье траншеи вдоль установленных анодов следует соблюдать особую осторожность, чтобы не повредить изоляцию контактных проводников и токовводов. Рытье траншеи целесообразно выполнять в 0,3—0,5 м от оси вертикально установленных анодов. Глубина траншеи около 1, ширина 0,3—0,5 м. Работы по сооружению анодного заземления из вертикальных железокремнистых электродов завершаются засыпкой траншеи и установкой контактного устройства в ложном колодце.

2. Монтаж глубинных заземлителей из железокремнистых анодов

Глубинными анодными заземлителями следует считать заземлители, устанавливаемые на глубинах, превышающих 12—15 м, поскольку технология их сооружения требует более сложной буровой техники. При бурении скважин под глубинные анодные заземлители могут быть использованы буровые станки УКС-22, УРБ-3АМ, БА-151А и др. При проектировании глубинных анодных заземлителей необходимо иметь достоверные данные о гидрогеологических условиях вмещающих пород. Сравнение технико-экономических вариантов применения поверхностных и глубинных анодных заземлителей обязательно.

Поскольку глубинные заземлители недоступны для осмотра и ремонта, то конструкция таких заземлителей должна быть надежной, а к качеству выполнения монтажных работ предъявляются повышенные требования. Ферросилидовые аноды и конструкция вышеописанных токовводов удовлетворяют этим требованиям.

Конструкция глубинного заземления должна обеспечивать оптимальное использование ферросилида в работе анода, надежность и долговечность заземлителя и контактной системы, простоту монтажа, удобство изготовления и технологичность строительства.

При установке глубинного заземлителя без обсадных труб скважина должна хорошо прорабатываться глинистым раствором повышенной плотности.

Системы анодов глубокого заложения во многих случаях являются одним из лучших решений для защиты подземных металлических сооружений в крупных городах, имеющих густую и разветвленную сеть инженерных коммуникаций.

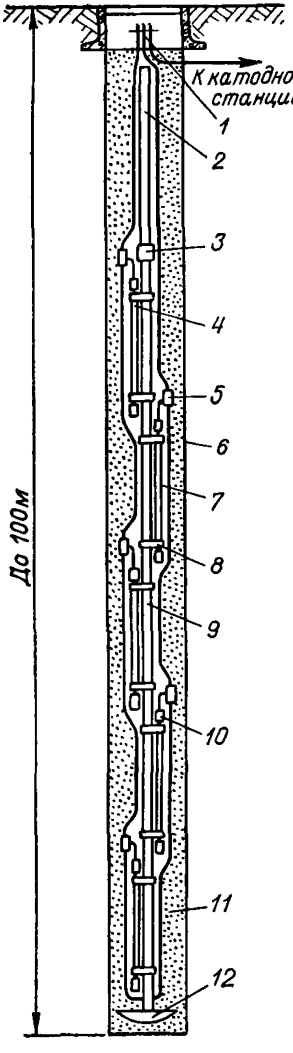

Рис. 18. Глубинное анодное заземление из железокремнистых электродов.

1 — контактное устройство; *2* — труба стальная диаметром 58 мм (ГОСТ 380—60); *3* — муфта соединительная; *4* — кабельная связка (кабель ВРГ 1×10 ГОСТ 433—58); *5* — фитинг ФТ-20; *6* — буровая скважина; *7* — железокремнистый электрод; *8* — хомут (струбцина); *9* — некорродирующая несущая конструкция (труба из полиэтилена или поливинилхлорида, деревянный брус); *10* — токоввод с кабельным выводом; *11* — коксовая мелочь (ГОСТ 11255—65) (буровой глинистый раствор); *12* — центрирующий стабилизатор.

Анодные системы глубокого заложения могут оказаться успешными, если приняты следующие предосторожности:

а) для изоляции токовводов используются проводники с фторопластовой, полихлорвиниловой или полиэтиленовой изоляцией, дополнительно защищенные от механических повреждений покрытием шлангового типа на основе трубки из поливинилхлорида или полиэтилена;

б) в месте установки токоввода создается уплотнение (герметизация), которое может противостоять гидростатическому давлению в скважинах, где устанавливаются аноды;

в) аноды следует устанавливать на подвеске из некорродирующего материала. Это обеспечивает постоянное пространственное расположение электродов, предотвращает обрыв соединительных проводов и нарушение герметичности токовводов;

г) предусмотрены меры, обеспечивающие отвод образующихся газообразных продуктов электролиза, а следовательно, и предотвращающие блокирование анодов газовыми пробками.

На рис. 18 показано глубинное заземление из железокремнистых анодов. Бурение скважины под глубинные анодные заземлители может осуществляться станками роторного бурения типа БА-151А без крепления стенок скважин обсадными трубами либо станками ударно-канатного бурения типа УКС-30 или УКС-22М с применением обсадных труб. Глубина скважин может достигать 100 м, а диаметр определяется технологической картой буровых работ, но не должен быть меньше 250 мм. Так как глубина скважины может достигать 100 м, монтаж оборудования производится на поверхности земли.

Железокремнистые аноды *7* крепятся к неметаллической несущей конструкции *9* с помощью хомутов или струбцин. В качестве некорродирующей несущей конструкции рекомендуется ис-

пользовать трубы из полиэтилена высокой плотности МРТУ 6—05—912—63 (предел прочности на растяжение не менее 250 кгс/см^2), трубы из поливинилхлорида (винипласта) ТУ МХП 4251—54 (предел прочности на растяжение не менее 400 кгс/см^2).

В случае необходимости может быть осуществлено соединение полиэтиленовых или поливинилхлоридных труб методом термической сварки нагретым воздухом или нагретым инертным газом.

При отсутствии полиэтиленовых и винипластовых труб в качестве несущей конструкции для крепления железокремнистых электродов могут быть использованы пиломатериалы из натуральной древесины лиственных пород — бруски, доски (ГОСТ 2695—62) (предел прочности на растяжение не менее 1000 кгс/см^2).

Крепление железокремнистых анодов к неметаллической несущей конструкции целесообразно выполнять с помощью специальных струбцин или хомутов *8*, выполненных также из неметаллических материалов. Крепление железокремнистых электродов к деревянной несущей конструкции может быть осуществлено с помощью шнура из капрона или пропилена, липких изоляционных полихлорвиниловых и полиэтиленовых лент, кабельного пластиката.

Дальнейший монтаж заземлителя заключается в подключении индивидуальных анодов к кабельной связке *4*, которое осуществляется в фитингах *5*. Кабельная связка и фитинги также крепятся к неметаллической несущей конструкции с помощью липкой полихлорвиниловой ленты или кабельного пластиката.

Спуск анодов в скважину, закрепленных на несущей конструкции, осуществляется с помощью лебедки бурового станка или автокраном. На проектную отметку железокремнистые аноды опускаются на металлической трубе *2* диаметром 50 мм, которая соединяется с неметаллической несущей конструкцией с помощью муфты *3*. При помощи центрирующего стабилизатора *12* труба с прикрепленными к ней анодами и электрической системой устанавливается по центру скважины, а затем скважина заполняется коксом *11* или глинистым раствором. Кабельная связка подключается к контактному устройству *1*.

Количество железокремнистых электродов, опускаемых в скважину, может быть различным и зависит от защитного тока катодной станции, геоэлектрического разреза вмещающих пород, но обычно не должно превышать 10—15 шт.

При монтаже глубинных заземлителей необходимо выполнять требования «Единых правил безопасности при геологоразведочных работах» (М., Недра, 1972).

При монтаже глубинных анодных заземлителей все операции, связанные с подъемом, опусканием и перемещением анодов, необходимо выполнять плавно и осторожно, так как ферросилидовые аноды имеют низкие механические свойства.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОКРЕМНИСТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Правильно смонтированные заземления с ферросилидовыми анодами отличаются большой надежностью, долговечностью и практически не требуют ремонта.

Ввод в эксплуатацию катодной защиты с железокремнистыми анодами, как и любой электрозащитной установки [3], производится на основании актов приемки их комиссией. На каждую катодную станцию с анодным заземлением из железокремнистых электродов эксплуатационная организация составляет паспорт, в котором должны найти отражение сведения об анодном заземлении: конструкция, тип, размеры, количество и общая масса железокремнистых анодов; тип активатора, геоэлектрический разрез; сопротивление растеканию заземлителя.

При обслуживании катодных защит, осуществляемом эксплуатационной организацией в соответствии с утвержденным графиком, проверяют параметры катодной станции, которые фиксируются в специальном журнале. При обнаружении резкого возрастания сопротивления растеканию заземления выявляют электрометрическими методами отключившийся анод (группу анодов). Ремонтные работы по восстановлению электрических характеристик заземлителей возможны только на анодах, установленных на небольшой глубине. Ремонт глубинных заземлителей практически невозможен.

При ремонтных работах на поверхностных заземлителях вскрывают соединительные провода, фитинги, аноды и определяют причину возрастания сопротивления растеканию заземлителя.

Оборванные провода и кабели ремонтируют путем установки ремонтных фитингов. Вышедшие из строя аноды заменяют новыми. Все работы по ремонту заземлителей в охранной зоне действующих трубопроводов ведут с соблюдением утвержденных для данного сооружения правил техники безопасности.

Примечание. ГОСТ 2787—54 заменен на ГОСТ 2787—75*; ГОСТ 4832—58 — на ГОСТ 4832—80; ГОСТ 1415—49 — на ГОСТ 1415—78*; ГОСТ 805—57 — на ГОСТ 805—80; ГОСТ 10007—62 — на ГОСТ 10007—80Е; ГОСТ 433—58 на ГОСТ 433—73*; ГОСТ 3778—65 — на ГОСТ 3778—77*Е; ГОСТ 10587—72 — на ГОСТ 10587—84; ГОСТ 8728—66 — на ГОСТ 8728—77*Е; ГОСТ 11255—65 — на ГОСТ 11255—75*; ГОСТ 380—60 — на ГОСТ 380—71*; ГОСТ 2695—62 — на ГОСТ 2695—83; ГОСТ 1499—54 — на ГОСТ 21930—76.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Защита* подземных металлических сооружений от коррозии в США.— Газ. хоз-во. Обзорная информация, вып. 15, ЦБНТИ МЖКХ РСФСР, 1971.

2. *Зорин А. И., Никитенко Е. А.* Железокремнистые аноды станций катодной защиты трубопроводов. ВНИИОЭНГ, 1973.

3. *Инструкция* по защите городских подземных трубопроводов от электрохимической коррозии. М., Стройиздат, 1965.

4. *Материалы* в машиностроении, т. 4. Чугуны. М., Машиностроение, 1969.

Материалы в машиностроении, т. 5. Неметаллические материалы: Справочник. М., Машиностроение, 1969.

gost.e-ecolog.ru