

ОПЫТ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ТИТАНОВЫХ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ ДИОКСИДА МАРГАНЦА

С. В. Сериков

Руководствуясь требованиями международных нормативных документов: ISO15589-1, ISO15589-2, DNV RPB401 и отечественных – ГОСТ Р57190-2016, регламентирующие стандарты по электрохимической защите металлических конструкций и сооружений в грунтах и воде, можно выделить три основных аспекта:

- **экологичность.** Реализация этого требования применительно к электродам анодного заземления заключается в том, что продукты электродных реакций на поверхности электрода в процессе работы заземления не должны оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Именно по этой причине не допускается применение анодных заземлителей из сплавов железа и других тяжелых металлов, при растворении которых в грунт и воду попадает вредные для здоровья человека вещества.

- **предельный срок эффективной работы анода.** Здесь требование не менее 15 лет устойчивой работы без замены и ремонта. Отсюда следует два индивидуальных требования к анодам: требования низкой анодной растворимости материала электрода и требование высокой деполяризуемости его поверхности, контактирующей с окружающей электролитической средой в процессе токопередачи.

- **ограничение, компактность землеотведения на расположение анодного заземления.** Реализация этого требования может проявляться в двух направлениях. В схеме заземления и формирующую ее гирлянду анодов. Или в требовании к конструкции самого электрода, обеспечивающий минимальное сопротивление растеканию тока при ограниченных размерах электродов, позволяющее осуществлять его компактное размещение и коммутацию в грунте.

Сформулированные три основных принципа по свойствам анодных заземлителей существенно сужает сектор выбора материалов. Ясно, что практика использования бывших в употреблении стальных рельс или вырезанных из стальных труб полос в качестве анодов, это прошлый век. Из перспективных материалов, авторы выбрали из достаточно не дорогих и экологически безвредных для человека материалов: титан - как основа анодного заземлителя и диоксид марганца – как электропроводящий слой в виде покрытия на титане. Электроактивность диоксида марганца достаточно хорошо изучена (см., например, [1]). Здесь же можно найти сведения по

эксплуатационным характеристикам электродов с активным покрытием из двуокиси рутения, платины, также о платинотитановым анодам.

Особенности электроактивного покрытия анодного заземлителя включают в себя две основные инновационные составляющие, направленные на значительное увеличение адгезии между покрытием из диоксида марганца и титановой основой и предотвращение пассивации титановой поверхности:

- физико-химическая обработка поверхности анода перед нанесением покрытия;

- технология нанесения покрытия, в результате которой толщина устойчивого к механическим деформациям слоя покрытия из MnO_2 может достигать до 80 мкм при отсутствии проникающих пор к титановой основе.

При наличии надежного и качественного покрытия рассматриваемые анодные заземлители могут эксплуатироваться при токовой нагрузке, превышающей номинальную в десятки раз, до 250 A/m^2 .

Исследования анодных заземлителей из титана с покрытием из диоксида марганца толщиной (70-80) мкм, как плоских (рис. 1), так и цилиндрических (рис. 2), выявили [2], скорость анодного растворения в пределах 0,01 г/А-год при номинальной токовой нагрузке $\sim 10 \text{ A}$. Что позволяет эксплуатировать такие аноды в штатном режиме не менее 30 лет.

Отметим здесь эксплуатационные преимущества у анодов трубчатых, по сравнению с плоскими. Цилиндрическая (трубчатая) форма обеспечивает:

- максимальную механическую прочность на изгиб и кручение. Прочность конструкции – это возможность применения анодов в грунтах с подвижными слоями, а также в грунтах с недостаточной изученной динамикой водно-почвенного баланса. Движение слоев или грунтовых вод не будет «срезать» аноды и выводить из строя анодную сборку. Прочность конструкции в целом влияет на целостность слоя покрытия, что является краеугольным камнем функционирования анода, так как при изгибе или кручении плоского анода покрытие переходного материала испытывает дополнительные напряжения и начинает разрушаться. Повреждение покрытия ведет к выходу анода из эксплуатации;

- равномерное распределение плотности тока по всей поверхности анода. Отсутствие ярко выраженных «краевых эффектов» - одно из самых ответственных качеств анода, так как неравномерность плотности тока на поверхности анода ведет к образованию локальных зон электрической эрозии титановой подложки, наряду с пористостью и малой толщиной покрытия;

- эффективную коммутацию комплектной анодной сборки. Все токопроводящие кабели, дренажная трубка и несущий трос проходят внутри полости цилиндров анодов, что обеспечивает дополнительную механическую

защиту точек коммутации, при этом количество коммутационных узлов резко снижено за счет применения инновационных схем кабельной сборки.

Важно, что все кабельные соединения в сборке осуществляются в заводских условиях. На трассе выполняется стандартное подключение сборки к катодной станции.

Нормативно-техническая документация на промышленное производство анодных заземлителей из титана с покрытием из диоксида марганца регламентируется техническими условиями ТУ У27.3-19097964-001-2012 для украинских потребителей (производство ООО «Сура ЛТД», г. Днепропетровск). Сортамент титановых трубчатых анодов освоен по диаметру: 38, 45, 51, 60, 76, 89, 102 мм, по толщине стенки (1,0-2,0) мм, по длинам – 500, 1000 мм. Например, вес одного анодного заземлителя из титана (АЗТ): 60х1х500 мм, с покрытием и биметаллическим тоководом: 8х1х55 мм, составляет 0,450 кг. На рис. 3 представлено поперечное сечение токовода, вместе с контактным узлом.

Примеры по эксплуатации титановых трубчатых анодных заземлителей с покрытием из диоксида марганца.

Пример 1. Первый опыт по изготовлению титановых анодов с электроактивным покрытием из диоксида марганца, где принимала непосредственное участие ООО «СУРА ЛТД» (г. Днепропетровск), был осуществлен в 2008 г., по контракту с заводом ПАО «ОЭЗ № 20 гражданской авиации» (г. Киев), для поставки «Туркменгаз» анодов в объеме ~ 7500 шт. (2009г.), затем ~ 11000 шт. (2011г.).

Здесь плоский анод из титана (ВТ1-0), изготавливается на заводе со следующими геометрическими параметрами (толщина, ширина, длина) соответственно: 0,5х100х500 мм. Титановый токовод – трубка: 4х1х50 мм, приваривалась на торце пластины (см. фото 1). Покрытие (MnO_2) осуществлялось термо-химическим способом толщиной до 50 мкм. Общий вес анода с покрытием ~ 0,15 кг. Конкретных данных по коммутации поставленных анодов на объекты «Туркменгаз» у поставщика нет.

Пример 2. В промышленной зоне г. Днепропетровска, защита газовых коммуникаций от электрохимической коррозии в течении последних десятилетий доставляло много озабоченностей. Традиционные анодные заземлители из ферросилида, графита, магнетита и т.д., не давали стабильной защиты и приходилось их регулярно менять. Причина – среда в скважине водно-почвенная смесь с сильной минерализацией, с содержанием соединений цинка, хлора, фтора. После установки трубчатых анодных заземлителей из титана с покрытием из диоксида марганца (60х1х500 мм) в сборке из 26 анодов в вертикальную скважину глубиной 55 м и диаметром 240 мм, режимы работы катодной станции стабильны. Сборка была

установлена 15.02.2013г. (г. Днепропетровск). На 05.10.2016г. режим катодной станции, как и 15.02.2013г.:

- напряжение на выходе катодной станции – 42В;
- ток катодной станции – 23А;
- разность потенциалов «газопровод-земля» в точке дренирования минус 2,5В.

Пример 3. Для защиты от электрохимической коррозии участка газопровода диаметром 219 мм (Днепропетровская обл., Новомосковский р-н), 17.03.2013г. было произведено бурение трех скважин в суглинистых грунтах глубиной по 10 м, в которые смонтированы сборки из десяти анодов: 45х1,5х500 мм. Заливка скважин осуществлялась глинистым раствором. Первоначальный режим катодной станции: напряжение 32В, ток – 12 А, потенциал в точке дренирования – минус 2,5В. На 10.04.2016г., режим работы станции: напряжение 13В, ток – 8А, потенциал – минус 1,95В. Изменение режима работы катодной станции связано с ремонтом анодного поля соседней станции, что привело к уменьшению нагрузки на первую станцию. Эксплуатация трех сборок в течение трех лет показала стабильность и надежность их работы.

Пример 4. Совместно со специалистами ПАО «Киевгаз», для защиты от электрохимической коррозии городских газораспределительных трубопроводов, были пробурены две скважины глубиной по 30 м. Диаметр скважин – 190,5 мм. Удельное сопротивление грунтов (суглинок), на глубине (15-30) м составляло 40 Ом·м. После установки двух сборок (07.05.2015г.) из 11 штук титановых анодов: 38х2х500 мм, скважину с обсадной трубой, залили глинистым раствором. Наладочный режим катодной станции: напряжение 10В, ток – 10А, потенциал на газопроводе – минус 0,7В. В таблице 1 представлены замеры данных катодной станции в среднем, через каждые десять дней эксплуатации, через 45 дней после установки анодных сборок. В 2016 году работа установленных сборок без замечаний.

Пример 5. В соответствии Программы полевых испытаний, утвержденной Первым заместителем начальника Департамента ОАО «Газпром» по транспортировке, подземному хранению и использованию газа, С. В. Алимовым от 01.07.2013 года, для защиты от электрохимической коррозии стальных труб газопровода ГРС «Апрелевка» (Московская обл, РФ), 23.07.2014г. был произведен монтаж в грунте двух анодных сборок, силами ООО «Сетьстрой-1». Указанные ниже сборки производства ООО «СУРА ЛТД» (см. патенты РФ [3-4]), были изготовлены и установлены, с учетом рекомендаций д.т.н., профессора В. В. Притулы (ОАО «ВНИИСТ», г. Москва).

5.1. Первая сборка из 20 шт. анодных заземлителей из титана (АЗТ): 60х1х500 мм, с покрытием из диоксида марганца толщиной ~ 70 мкм. Общий вес сборки, вместе с коммутирующим кабелем марки ВПП1х6, составил 14,5 кг. Сборка была помещена в вертикальной скважине глубиной 24 м. Засыпка осуществлялась коксовой мелочью.

5.2. Вторая сборка из 23 шт. трубчатых титановых анодов (АЗТ): 45х1х500 мм, с покрытием из диоксида марганца толщиной ~ 0,70 мкм. Общий вес сборки – 11,3 кг. Монтаж этой сборки произведен ступенчато: сборка из четырех анодов уложена в траншею горизонтально, на глубине 2 м. остальные 19 шт. анодов – вертикально, в скважине глубиной 24 м. Здесь активизирующая засыпка применялась из шунгитовой смеси (Маг-1).

За время эксплуатации системы электрохимической защиты (газопровод – катодная станция – анодные заземлители на основе титана, с электроактивным покрытием из диоксида марганца), с 23.07.2014г. по 27.10.2016г.), сборки из анодов нового типа показали принципиальную работоспособность, надежность в эксплуатации, включая повышенный диапазон плотности тока. Зафиксировано также хорошее сопротивление, с постепенным его снижением с 2,4 Ом до 1,14 Ом, в случае применения активатора, на основе шунгитовой смеси. В табл. 2 представлены замеры катодной станции за период (23.07.14г. – 20.05.15г.), где варьировалась сила тока во время эксплуатации сборки из анодов (АЗТ): 60х1х500 мм в вертикальной скважине. Максимальный режим по току – 30А, по напряжению 41В, по защитному потенциалу минус 2,5В.

Здесь отметим, применяемые на объектах ОАО «Газпром» анодные заземлители марки «Менделеевец» производства ЗАО «Химсервис», имеют максимальные токовые нагрузки до 10А. Что существенно сужает диапазон их применения. Особенно для трубопроводов с антикоррозионным покрытием с большим сроком эксплуатации (более 15 лет).

Пример 6. В 2013 году, по договору с ЗАО «ППМТС «Пермснабсбыт» (г. Пермь), были изготовлены и поставлены две сборки из 30 шт. плоских титановых анодов: 1,0х100х1000 мм, для размещения в скважинах глубиной ~ 30 м. Вес одного анода с биметаллическим тоководом ~ 0,485 кг (фото 2).

Также 29.08.2013г. были приняты в опытно-промышленную эксплуатацию на объектах ОАО «Белгородоблгаз» (г. Белгород) две сборки из двадцати АЗТ: одна из плоских анодов 1х100х1000 мм, а другая из трубчатых 38х1х500 мм.

Отметим более подробно результаты работы АЗТ на площадках ГК «Донбассгаз» Донецкого управления по газоснабжению и газификации.

Было изготовлено и установлено (2013-2014гг.) в вертикальных скважинах 25 сборок из трубчатых АЗТ. Сборки имели различное количество

анодов, а также их диаметры, согласно Проекта. Ниже приведем данные по эксплуатации анодных сборок из трубчатых анодов размером 60x1x500 мм по трем адресам г. Донецка.

Вес одного анода с покрытием и тоководом ~ 0,45 кг. Тип грунта – суглинок.

6.1. г. Донецк, ул. Нижнекурганская, ГПР-8 «Ж».

Количество АЗТ в сборке – 18 шт. Общая длина сборки – 39 м. Тип установки – вертикальная скважина глубиной 9 м (3 шт.). Дата ввода в эксплуатацию – 20.12.2013г. Режимы работы станции (КС) на момент ввода в эксплуатацию:

- напряжение на выходе КС: 13В;
- ток КС: 10А;
- разность потенциалов «газопровод – земля» в точке дренирования: минус 1,6В.

Режимы работы КС по состоянию на 19.05.2015г.:

- напряжение на выходе КС: 15В;
- ток КС: 5А;
- разность потенциалов «газопровод – земля» в точке дренирования: минус 1,2В.

6.2. г. Донецк, ул. Димитрова, 31.

Количество АЗТ в сборке – 21 шт. Общая длина сборки – 42 м. Тип установки – вертикальная скважина глубиной 18 м (2 шт.). Дата ввода в эксплуатацию: 12.01.2013г.

Режимы работы КС на момент ввода в эксплуатацию:

- напряжение на выходе КС: 5В;
- ток КС: 6А;
- разность потенциалов «газопровод – земля» в точке дренирования: минус 2,0В.

Режимы работы КС по состоянию на 19.05.2015г.:

- напряжение на выходе КС: 8В;
- ток КС: 4А;
- разность потенциалов «газопровод – земля» в точке дренирования: минус 1,6В.

6.3. г. Донецк, ул. Кочубея, 8.

Количество АЗТ в сборке – 15 шт. Общая длина сборки - 27 м. Тип установки – вертикальная скважина глубиной 10 м (2 шт.). Дата ввода в эксплуатацию: 26.12.2013г. Режимы работы КС на момент ввода в эксплуатацию:

- напряжение на выходе КС: 13В;
- ток КС: 10А;

- разность потенциалов «газопровод – земля» в точке дренирования: минус 1,4В.

Режимы работы КС по состоянию на 19.05.2015г.:

- напряжение на выходе КС: 19В;
- ток КС: 11А;
- разность потенциалов «газопровод – земля» в точке дренирования: минус 1,54В.

На сегодня (20.06.2017г.), все поставленные для ГК «Донбассгаз» сборки из титановых анодных заземлителей с покрытием из диоксида марганца выполняют свои функции и находятся в рабочем состоянии, отклонений от заявленных паспортных характеристик не выявлено.

Пример 7. Для системы электрохимической защиты стальных сооружений на промышленной площадке ($\sim 250 \text{ м}^2$) компании «Американские Энергетические Технологии» (г. Арлингтон Хайтс, штат Иллинойс, США), фирмой ООО «СУРА ЛТД», согласно представленным исходным данным, по сопротивлению грунта ($\sim 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и величине поляризационного защитного потенциала подземные сооружения: min (-0,55В), max (-0,80В), была рассчитана сборка из четырех трубчатых АЗТ размером: 45x1,5x500 мм для двух вертикальных скважин глубиной 10 м. Длина одной сборки – 6,5 м. Вес – 2,6 кг, вместе с медным кабелем соединения (марка ВПП1х6). Расстояние между анодами в сборке – 0,5 м. Две сборки были изготовлены и поставлены (15.12.2016г.).

По требованию Заказчика, были проведены испытания каждой сборки на надежность соединений и оценка омического сопротивления сборок. Сопротивление анодов определялось методом «вольтметра – амперметра», при силе тока 2А. Соединение анодов к токонесущему кабелю – параллельное. Отсюда, оценка сопротивления сборки производилась расчетным путем.

В итоге, результаты измерения сопротивления четырех анодов 45x1x500 мм в двух сборках:

- сборка 1: 0,08; 0,125; 0,085; 0,07 Ом.
- сборка 2: 0,11; 0,10; 0,13; 0,085 Ом.

Отсюда среднее омическое сопротивление каждой сборки соответственно: 0,02 Ом и 0,01 Ом. Испытания на надежность контактных соединений не выявили дефектов.

В процессе эксплуатации анодных заземлителей на титановой основе с покрытием из диоксида марганца, можно выделить основные показатели: стабильность сопротивления растекания тока; весьма малая растворимость, отсюда долговечность при эксплуатации (~ 30 лет); относительно малые веса и габариты; технологичность монтажа, без привлечения погрузочно-

разгрузочных спецсредств; снижение затрат при монтаже и эксплуатации; надежность и безопасность. Для повышения надежности при эксплуатации анодов, на последнем устанавливают два токовода (фото 3), с одним контактным соединением. В проблемных грунтах, соединение анодов в сборке целесообразно выполнять последовательно-параллельно (см. рис.). Анодные сборки, помещаемые в вертикальных скважинах глубиной более 10 м, комплектуются стальным тросом Ø2 мм с полиэтиленовым покрытием. Трос проходит внутри анодов и исключает силовое напряжение на электрическую цепь сборки.

Отметим последнюю по времени (25.05.2017г.) отгрузку в адрес ПАО «ДонецкГорГаз» пятнадцать сборок из трубчатых анодных заземлителей АЗТ38-500 по 14 штук в каждой сборке, для вертикальных скважин глубиной 14 м. Особенность сборок, согласно проекта, соединение анодов в коммутирующую цепь, последовательно-параллельное (см. рис. 5). Две сборки по три анода и две сборки по четыре анода, имеют свои выводы на катодную станцию. Расстояние от скважины до катодной станции – 13 м. На рис. 6 показана коммутационная схема анодных сборок из трех и четырех анодов АЗТ 38-500. Здесь аноды представляют титановую трубу с покрытием из диоксида марганца диаметром 38 мм, с толщиной стенки 1 мм, длиной 500 мм. Вес одного анода с тоководом из водопогружного кабеля марки ВПП1х6 длиной 250 мм составляет в среднем 0,32 кг.

Центральный коммутирующий кабель марки ВПП1х10. Все провода в общей сборке, а также газоотводящая полиэтиленовая трубка Ø10 мм, с дискретными круглыми отверстиями и силовой стальной трос Ø2 мм с покрытием, проходят внутри анодов. На фото 4 показана одна сборка из 14 анодов (14АЗТ38-500). Вес одной сборки в комплекте ~ 16,5 кг. На фото 5 представлены все 15 сборок в бумажной упаковке перед погрузкой. Общий вес сборок: брутто/нетто соответственно 281,5/264,8 кг.

Согласно протокольного соглашения с Управлением по защите газовых сетей от электрохимической коррозии АО «Мосгаз» и ООО «Бипрон» (г. Москва), сотрудниками лицензированной организации ООО «УниверсалСтрой» 11.10.2018г. были проведены работы по монтажу восьми сборок из четырех титановых анодных заземлителей (4АЗТ63/500 – 3 сборки, 4АЗТ38/500 – 5 сборок). Поставка сборок, в комплекте с силовым тросом Ø2 мм, газоотводящей трубкой Ø10 мм и контактором (см. паспорт № 25 от 07.09.18г.), была произведена ООО «Сталь-Дон-Титан» (г. Воронеж).

Все восемь сборок расположены в вертикальных скважинах глубиной 10 м на объектах АО «Мосгаз» по адресу: г. Москва, ул. Брянская, д. 5.

В сборке аноды соединены последовательно-параллельно (см. Приложение 1 – рис. 1), по два анода в цепи (см. Приложение 2 – фото 6, 7).

В настоящее время (12.11.2018г.), система защиты от электрохимической коррозии газовых сетей по названному адресу работает в штатном режиме. Еженедельно снимаются показания потенциала с катодной станции и данные анализируются. К 01.06.2019г. планируется свести эксплуатационные данные АЗТ в Протокол, где будет отмечена перспектива расширения применения титановых анодных заземлителей с покрытием из диоксида марганца на объектах АО «Мосгаз».

В заключение настоящего обзора опыта изготовления и эксплуатации анодных заземлителей с покрытием из диоксида марганца, выражаю искреннюю благодарность за многолетнюю профессиональную поддержку рассматриваемого направления д.т.н., профессору В. В. Притуле, инвестору – директору ООО «РУСТЭС» С. П. Сидоренко, капитану первого ранга в отставке – А. В. Удалову.

Таблица № 1.

Замеры эксплуатационных характеристик катодной станции на газораспределительной сети ПАО «Киевгаз», при работе сборки из 11 анодов (АЗТ): 38х2х500 мм в скважине глубиной 30м.

День установки – 07.05.2015г.

№	Дата	ПСК-М-3,0		
		Напряжение, В	Ток, А	Потенциал, В
1.	07.05.15	10	10	-0,7
2.	12.05.15	10	10	-0,9
3.	21.05.15	10	10	-0,9
4.	08.06.15	10	10	-0,8
5.	22.06.15	10	10	-0,8
6.	06.07.15	10	10	-0,8
7.	05.08.15	10	10	-0,8
8.	18.08.15	10	10	-0,8
9.	04.09.15	10	10	-0,8
10.	22.09.15	10	10	-0,8
11.	05.10.15	10	10	-0,8
12.	19.10.15	10	10	-0,8
13.	04.11.15	10	11	-1,0
14.	18.11.15	10	11	-1,0
15.	03.12.15	11	12	-1,0
16.	18.12.15	11	12	-1,0

Таблица 2.

Режим работы катодной станции при эксплуатации анодной сборки в течении десяти месяцев из 20 шт. АЗТ: 60х1х500 мм в вертикальной скважине глубиной 24 м на газопроводе ГРС «Апрелевка» (Московская обл.)

Дата	Режим работы		Измеренный потенциал	
	Ток, А	Напряжение, В	Потенциал, В (U_T -труба, U_3 -земля)	
23.07.14	5	12	$U_T = -2,3$	$U_3 = -2,2$
31.07.14	12	18	$U_T = -2,4$	$U_3 = -1,9$
16.09.14	10	20	$U_T = -2,4$	$U_3 = -1,9$
10.10.14	10	20	$U_T = -2,4$	$U_3 = -1,9$
24.10.14	10	20	$U_T = -2,4$	$U_3 = -1,9$
21.11.14	9	19	$U_T = -2,4$	$U_3 = -1,9$
24.12.14	8	18	$U_T = -2,2$	$U_3 = -1,5$
23.01.15	9	20	$U_T = -2,2$	$U_3 = -1,5$
20.02.15	6	19	$U_T = -2,2$	$U_3 = -1,5$
20.03.15	8	18	$U_T = -2,3$	$U_3 = -1,5$
24.04.15	13	25	$U_T = -2,5$	$U_3 = -1,5$
15.05.15	27	36	$U_T = -2,5$	$U_3 = -2,0$
20.05.15	28	32	$U_T = -2,5$	$U_3 = -2,0$

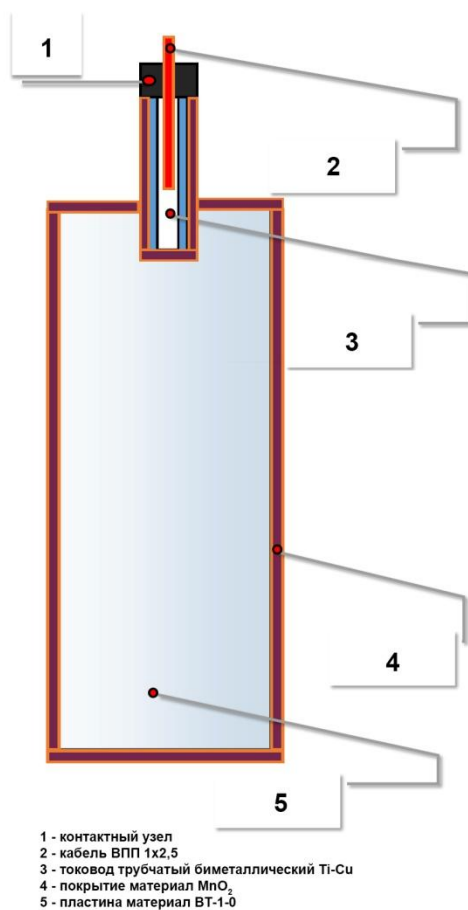


Рис.1. Плоский анодный заземлитель

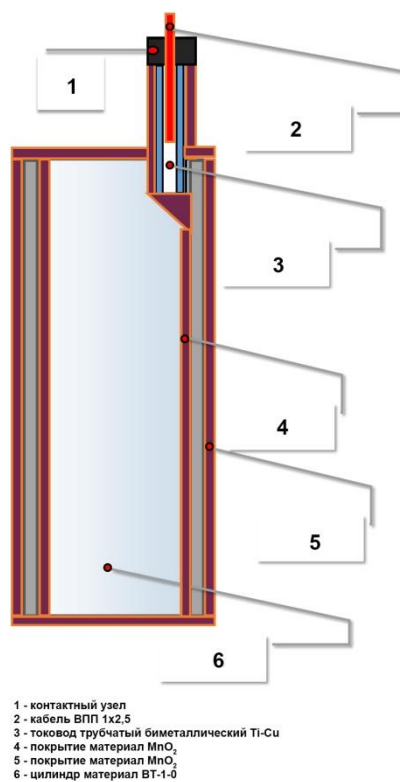


Рис. 2. Цилиндрический анодный заземлитель

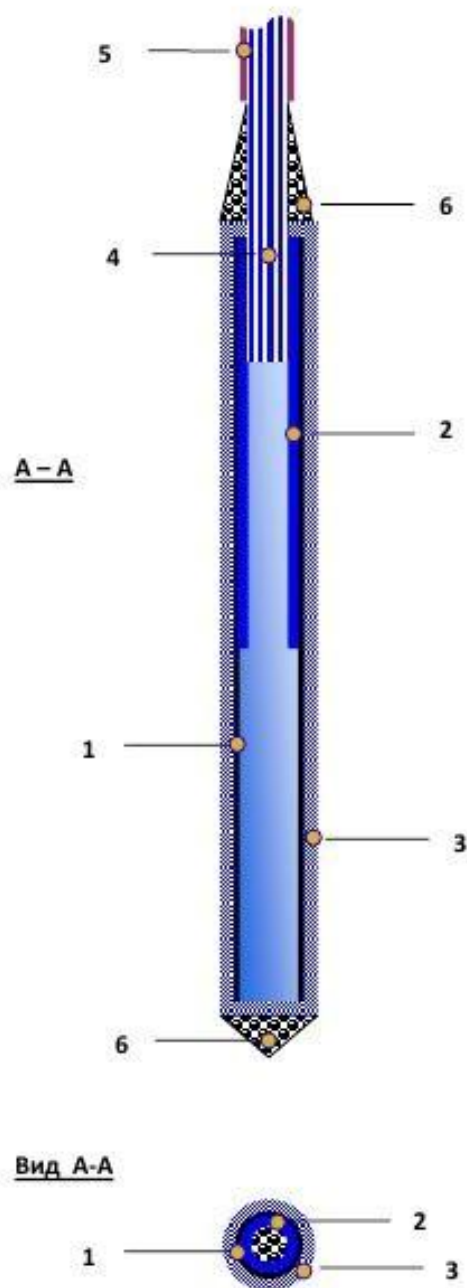


Рис 3. Трубчатый биметаллический токовод

- 1 - титановый корпус токовода сплав ВТ1-0 ; 2 - медный внутренний слой токовода медь М1 ;
 3 - покрытие поверхности токовода диоксидом марганца ; 4 - медные жилы соединительного кабеля ;
 5 - соединительный кабель в изоляции ; 6 - зоны герметизации токовода и контактного узла

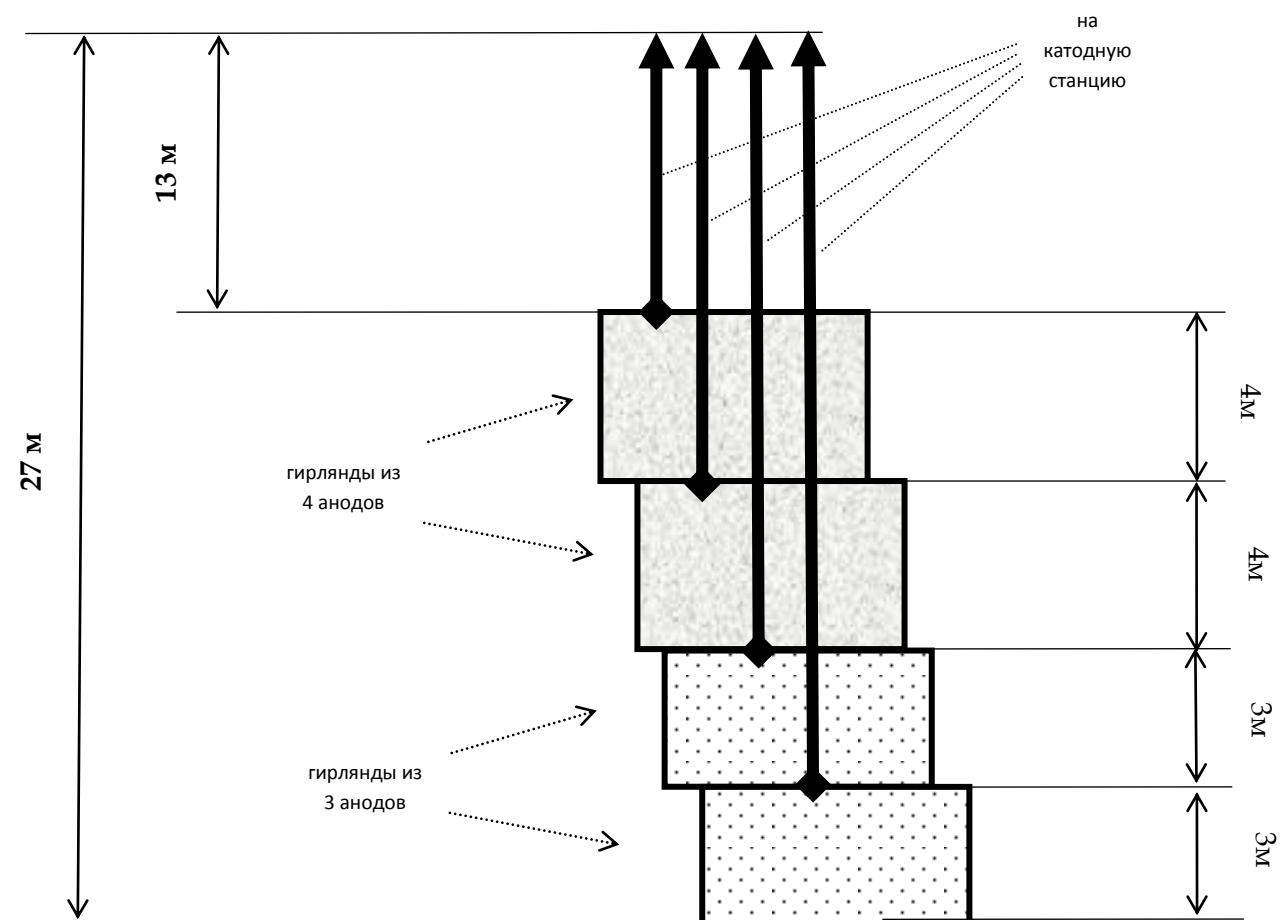


Рис. 5. Коммутация анодных сборок (две по три анода АЗТ 38-500 и две по четыре) в скважине глубиной 14 м.

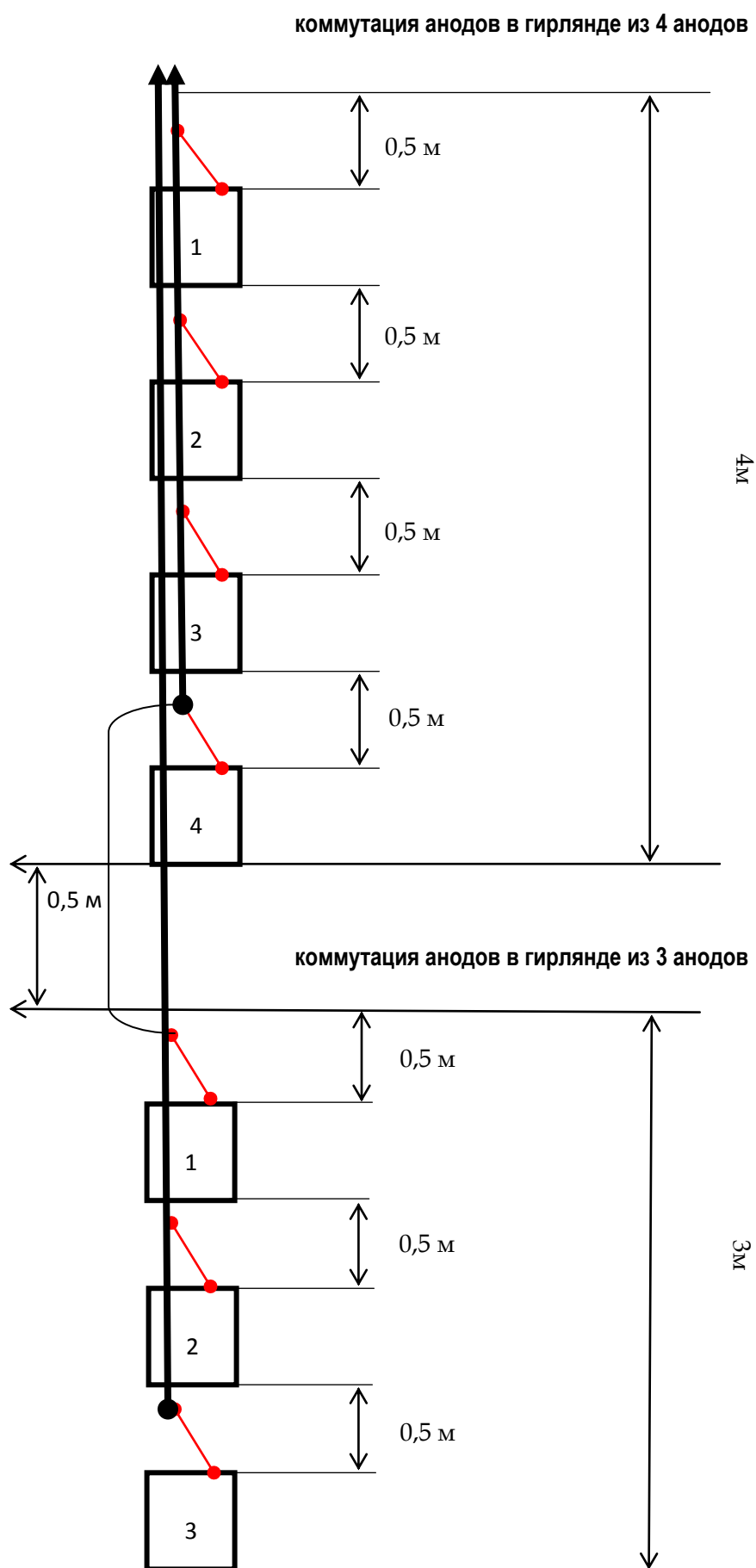


Рис. 6. Коммутационная схема анодных сборок из трех и четырех анодов АЗТ 38-500.



Фото 1. Плоский титановый анодный заземлитель АЗ100х500, с покрытием из диоксида марганца (темный) и без покрытия (светлый).



Фото 2. Плоский титановый анодный заземлитель АЗ100х1000, с покрытием из диоксида марганца.



Фото 3. Трубчатые титановые анодные заземлители с покрытием из диоксида марганца с одним тоководом – (диаметр 38 мм) и с двумя (диаметр 60 мм).



Фото 4. Общий вид анодной сборки из 14 шт. анодов (14АЗТ38-500), вместе с газоотводящей полиэтиленовой трубкой Ø10 мм и силовым тросом Ø2 мм.



Фото 5. Анодные сборки (15 шт.), в бумажной упаковке перед погрузкой (25.05.2017г.).



Фото 6.



Фото 7

ЛИТЕРАТУРА

1. Якименко Л. М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. М: Химия, 1977-204с.
2. Притула В. В., Сериков С. В., Сидоренко С. П. Анодные заземлители на титановой основе с покрытием из диоксида марганца.- Журнал «Трубопроводный транспорт», № 3-4, 2014, с. 29-33.
3. Сериков С. В. и др. Анодный заземлитель – Патент РФ №2542867, БИ № 6, 2015г.
4. С. В. Сериков и др. Сборка анодных заземлителей. Патент РФ № 2556844, БИ №20, 2015г.