

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(институт)

«Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(кафедра)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

профиль «Технология и оборудование для пайки»
(наименование профиля, специализации)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Сварка и пайка выводов электрохимической защиты магистральных трубопроводов

Студент

О.В. Мальков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

О.В. Шашкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.т.н., проф. Перевезенцев Б.Н.

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., проф. Ельцов В.В.

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

АННОТАЦИЯ

Целью работы повышение надежности электрохимической защиты магистральных трубопроводов за счет разработки способа присоединения вывода ЭХЗ, обеспечивающего высокое качество и минимальное изменение структура и свойств материала трубы.

В магистерской диссертации предложена технология дуговой пайки выводов электрохимической защиты с использованием в качестве присадочного материала (припоя) проволок на основе медных сплавов (CuSi_3 и Dt 2-1367) которые обладают более низкой температурой плавления, что позволяет уменьшить тепловое воздействие на основной металл, и избежать снижения свойств материала и обеспечить его высокие эксплуатационные характеристики.

Проведены исследования процессов сварки и пайки выводов электрохимической защиты к магистральным трубопроводам различными способами и материалами, в том числе и с использованием дуговой пайки с применением припоев на основе медных сплавов. Полученные результаты позволяют рекомендовать указанный способ на замену традиционным способам присоединения выводов электрохимической защиты.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка. Объем основной части работы состоит из 105 страниц машинописного текста.

Диссертация содержит 55 рисунков и 16 таблиц. Список литературы включает 30 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Коррозия магистральных трубопроводов.....	7
1.1. Основные сведения о коррозии магистральных трубопроводов.	7
1.2. Способы борьбы с коррозией магистральных трубопроводов	18
1.2.1. Активная защита магистральных трубопроводов от коррозии	21
1.2.2. Принцип действия электродренажной защиты.	33
1.2.4. Протекторная защита	42
1.2.5. Достоинства и недостатки протекторной защиты.....	52
1.4. Способы присоединения выводов электрохимической защиты	55
2. Анализ способов сварки и пайки выводов электрохимической защиты магистральных трубопроводов.....	58
2.1. Ручная дуговая сварка выводов ЭХЗ	58
2.2. Термитная сварка выводов ЭХЗ.....	60
2.2.1. Сварка с использованием паяльно-сварочных стержней из медных термитных смесей в комплекте с многоразовыми графитовыми оправками.....	68
2.2.2. Сварка с использованием медных термитных смесей с одноразовой тигель-формой.....	69
2.2.3. Сварка с использованием медных термитных смесей с многоразовой тигель-формой	70
2.2.4. Сварка с использованием термокарандашей из прессованной медной термитной смеси в комплекте с многоразовыми графитовыми тигель-формами.....	71
2.3. Пайка выводов ЭХЗ.....	72
2.3.1. Штифтовая пайка выводов ЭХЗ.....	72
2.3.2. Дуговая пайка выводов ЭХЗ.....	75
3. Методика исследования структуры и свойств сварных и паяных соединений выводов ЭХЗ.....	78
3.1. Исследование процессов сварки и пайки выводов ЭХЗ.....	78
3.2. Определение механических свойств сварных соединений.....	82
4. Результаты исследований	85
4.1. Результаты исследований процесса дуговой пайки в среде аргона припоем на основе меди (бронза Dt 2.1367)	85
4.2. Результаты исследований процесса дуговой пайки в среде аргона припоем на основе меди (сплав CuSi3).	86
4.3. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием медных термитных смесей с одноразовой тигель-формой.....	88
4.4. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием медных термитных смесей с многоразовой тигель-формой.....	89

4.5. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием термокарандашей из прессованной медной термитной смеси в комплекте с многоразовыми графитовыми тигель-формами.....	91
4.6. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием паяльно-сварочных стержней из медных термитных смесей в комплекте с многоразовыми графитовыми оправками.....	93
5. Технологический процесс дуговой пайки вывода ЭХЗ	95
5.1. Очистка поверхности труб и элементов трубопроводов.....	95
5.2. Подготовка поверхности трубы и вывода ЭХЗ.....	96
5.3. Сборка вывода ЭХЗ под пайку.....	97
5.4. Сварка вывода ЭХЗ.....	97
5.5. Контроль качества соединений.....	99
Заключение.....	101
Список использованных источников.....	103

Введение

Трубопроводный транспорт - самый распространенный способ доставки жидких и газообразных сред в мире. Небольшие внутренние трубопроводы есть в каждом современном доме, в населенных пунктах построены сети надземных и подземных распределительных трубопроводов, все регионы нашей страны соединены системой магистрального трубопроводного транспорта. Трубопроводы транспортируют воду, нефть и нефтепродукты, газ и т.д. В нашей стране был построен даже уникальный трубопровод транспорта аммиака. Большинство отечественных эксплуатируемых трубопроводов - металлические, главная причина их разрушений - коррозия, а видов коррозии – множество [1].

Высокие требования, предъявляемые к долговечности и надежности эксплуатируемых трубопроводных систем, определяют необходимость обеспечения высокоэффективной антикоррозионной защиты труб и их сварных соединений. В настоящее время в зависимости от природно-климатических условий, до 40% аварий на магистральных трубопроводах связано с коррозионными разрушениями [16]. Практика показала, что 90% коррозионных разрушений трубопроводов происходит на сварных соединениях вследствие их высокой электрохимической гетерогенности, концентрации напряжений, а иногда и некачественного выполнения шва. Таким образом, сварка и защита от коррозии трубопроводов являются важными факторами, от которых зависит надежность трубопроводной системы [13].

На сегодняшний день все трубопроводы (кроме проложенных надземно) независимо от условий эксплуатации подлежат электрохимической защите.

Электрохимическая защита должна обеспечивать в течение всего срока эксплуатации непрерывную по времени катодную поляризацию трубопровода на всем его протяжении (и на всей его поверхности) таким

образом, чтобы значения потенциалов на трубопроводе были (по абсолютной величине) не меньше минимального и не больше максимального значений.

Сущность электрохимической защиты заключается в том, что металл магистрального трубопровода подключается к внешнему источнику постоянного электрического тока или пассивному протектору. В результате этого на поверхности трубы формируется поляризация электродов катодного типа, и все анодные области начинают преобразовываться в катодные. В этом случае к трубопроводу подключается источник внешнего тока – специальная станция катодной защиты. Данный метод подходит для защиты от коррозии газо- и нефтепроводов [26]. Для подключения внешних источников системы электрохимической защиты (ЭХЗ) к трубе к ней приваривают специальный вывод-заземлитель, чаще всего выполняемый из меди или стали. Наибольшее распространение для присоединения вывода электрохимической защиты к поверхности трубы получил способ термитной сварки. Однако у этого способа есть существенный недостаток, связанный с высокими требованиями к содержанию влаги в термитной смеси и сложностью подготовки и ее использования при сварке. Кроме того большой объем термитной смеси и ее высокая температура при сварке приводит к изменению структуры и свойств материала трубы, что снижает надежность магистральных трубопроводов [5].

Поэтому **целью работы** является повышение надежности электрохимической защиты магистральных трубопроводов за счет разработки способа присоединения вывода ЭХЗ, обеспечивающего высокое качество и минимальное изменение структура и свойств материала трубы.

1. Коррозия магистральных трубопроводов

1.1. Основные сведения о коррозии магистральных трубопроводов.

Трубопроводный транспорт - самый распространенный способ доставки жидких и газообразных сред в мире. Большинство отечественных эксплуатируемых трубопроводов - металлические, главная причина их разрушений - коррозия, а видов коррозии - множество.

Процесс при котором происходит разрушение трубопроводов под воздействием внешней и внутренней среды называется коррозией. А сами среды, в которых трубопровод разрушается под воздействием коррозии, называются коррозионными или агрессивными. По характеру взаимодействия металла труб со средой различают два основных типа коррозии: химическую и электрохимическую [13].

Химической коррозией называется процесс разрушения всей поверхности металла при его контакте с химически агрессивным агентом, при этом он не сопровождается возникновением и прохождением по металлу электрического тока.

Электрохимическая коррозия – это процесс разрушения металла, сопровождающийся образованием и прохождением электрического тока. При электрохимической коррозии на поверхности металла образуется не сплошное, а местное повреждение в виде пятен и каверн большой глубины. Сущность электрохимической коррозии заключается в том, что в результате взаимодействия металла с окружающей средой происходит растворение и разрушение металла, сопровождающееся прохождением электрического тока [22].



Рисунок 1 - Виды коррозионных повреждений

Чаще всего причины коррозии определяются свойствами коррозионно-опасной среды, с которой контактирует внутренняя и наружная поверхность трубопровода. Коррозия внутренней поверхности трубопроводов имеет место в основном при перекачке сред, содержащих воду, особенно если в ней растворены коррозионно-опасные вещества: соли, кислоты, щелочи и т.д. Коррозия незащищенной наружной поверхности зависит от способа прокладки трубопровода и примененных конструктивных решений. Например, при прокладке методом «труба в трубе» коррозия открытой поверхности не происходит. При прокладке трубопровода на воздухе происходит атмосферная коррозия, которая практически не приводит к нарушению целостности трубопровода (образованию сквозных дефектов). Основная опасность коррозионного разрушения незащищенной наружной поверхности трубопроводов возникает при подземной прокладке, причем назначение трубопровода в данном случае не слишком принципиально. За небольшим исключением, все типы трубопроводов под землей корродируют одинаково. Отдельный вопрос - подводная коррозия трубопроводов, проложенных по дну, без заглубления в грунт.

Коррозия магистральных трубопроводов - самый хорошо изученный и систематизированный вид коррозии трубопроводов. По крайней мере, магистральные трубопроводы - это единственный вид трубопроводов, защита от коррозии которых регламентируется отдельным национальным стандартом ГОСТ Р 51164-98* «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии» [9], который, в общем объеме посвящен методам противокоррозионной защиты, а не механизмам коррозионного разрушения, однако, можно выделить и определенную систематизацию опасности коррозии магистральных трубопроводов в зависимости от ее механизма. Следует отметить, что магистральные трубопроводы применяются для транспорта подготовленных коррозионно-инертных продуктов, поэтому для них опасность представляет только наружная коррозия, причем на участках надземной прокладки только сравнительно неопасная атмосферная коррозия. Далее наш обзор будет посвящен только участкам магистральных трубопроводов подземной прокладки.

ГОСТ Р 51164-98 выделяет 3 основных вида участков магистральных трубопроводов, подверженных особым коррозионным опасностям: участки высокой коррозионной опасности, участки повышенной коррозионной опасности и коррозионно-опасные участки. Среди критериев ГОСТ, касающихся механизмов коррозии и позволяющих отнести некоторые участки трубопроводов к особо опасным участкам, можно выделить следующие критерии участков повышенной коррозионной опасности [9]:

- блуждающие токи от источников постоянного тока;
- микробиологическая коррозия;
- коррозионное растрескивание под напряжением.

Дополнительно, ГОСТ относит к участкам повышенной коррозионной опасности участки прокладки магистральных трубопроводов, на которых может резко возрасти опасность обычной почвенной коррозии:

- участки трубопроводов в засоленных почвах любого района страны (солончаковых, солонцах, сорах, солодах и др.);
- участки трубопроводов на участках промышленных и бытовых стоков, свалок мусора и шлака;
- участки трубопроводов с температурой транспортируемого продукта выше 303 К (30°C).

Обобщая вышесказанное, а также многолетний опыт эксплуатации и диагностики, можно резюмировать, что на магистральных трубопроводах подземной прокладки в основном реализуются следующие виды коррозионного разрушения [25]:

- почвенная электрохимическая коррозия;
- коррозия блуждающими токами от внешних источников постоянного тока;
- коррозия блуждающими токами от источников переменного тока (на участках пересечений и реже сближений с высоковольтными линиями 110 кВ и выше);
- коррозионное растрескивание под напряжением (свойственно преимущественно магистральным магистральным трубопроводам);
- микробиологическая коррозия (на участках, где почва вокруг трубопровода заражена микроорганизмами).

1.1.1. Почвенная электрохимическая коррозия

Почвенная электрохимическая коррозия подземных трубопроводов протекает по электрохимическому механизму, базирующемуся на возникновении разности потенциалов между различными участками трубопровода, и, как следствие, возникновении тока коррозии. В результате протекания тока коррозии участки металла на анодных зонах растворяются и переходят в грунт, где впоследствии взаимодействуют с почвенным электролитом, образуя ржавчину [25].

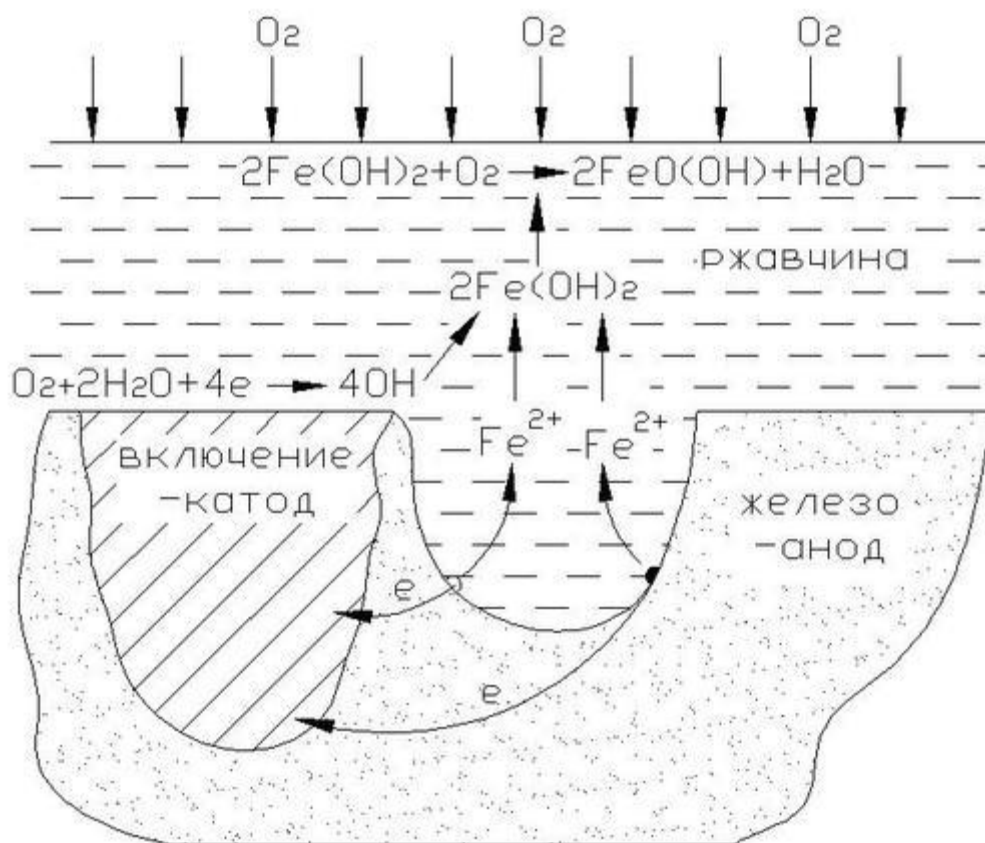


Рисунок 2 - Механизм электрохимической коррозии

Одной из наиболее важных особенностей трубопроводов, с точки зрения коррозии, является их большая протяженность. При своей большой протяженности подземные линии проходят через грунты различного состава и строения, различной влажности и аэрации. Все это создает возможность возникновения значительных разностей потенциалов между отдельными частями подземной линии. Так как трубопроводы имеют высокую проводимость, то на них легко образуются коррозионные гальванопары, имеющие иногда протяженность в десятки и даже сотни метров [10].

Так как при этом часто создаются большие плотности тока на анодных участках, это сильно увеличивает скорость коррозии. Существенным для развития коррозии оказывается и то, что подземные линии укладываются на такой глубине, где всегда сохраняется некоторая влажность, обеспечивающая течение коррозионных процессов. На глубине заложения трубопроводов температура редко снижается ниже 0°C и это также способствует коррозии.

Благоприятствует развитию коррозии на подземных трубопроводах и наличие на поверхности труб прокатной окалины, которая далеко не всегда удаляется при очистке.

Было установлено, что имеется прямая зависимость между площадью, подвергающейся коррозии, и глубиной коррозионного разрушения. Это объясняется тем, что на большей поверхности металла существует большая возможность возникновения более тяжелых коррозионных условий. В частности, этим объясняется, что другие стальные подземные сооружения, помимо трубопроводов, при прочих равных условиях разрушаются электрохимической коррозией медленнее.

Коррозионная агрессивность самих почвенных грунтов определяется их структурой, гранулометрическим составом, удельным электрическим сопротивлением, влажностью, воздухопроницаемостью, pH и др. Обычно коррозионную агрессивность грунта по отношению к углеродистым сталям оценивают по удельному электрическому сопротивлению грунта, средней плотности катодного тока при смещении электродного потенциала на 100 мВ отрицательнее коррозионного потенциала стали, градиенту естественных потенциалов свободной коррозии на участке трубопровода.

Коррозия блуждающими токами от источников постоянного тока [13]

Блуждающие токи - это токи антропогенного происхождения, протекающие в земле и в подземных металлических конструкциях. Такие токи возникают вследствие утечек в землю токов эксплуатируемых устройств и сооружений, работающих на постоянном токе, в частности железных дорог на постоянном токе, электросварочных аппаратов, систем катодной защиты сторонних объектов и т.д., и т.п. Как известно, электрический ток всегда стремится двигаться по пути наименьшего сопротивления, поэтому при наличии в зоне распространения блуждающих токов в земле подземных протяженных металлических трубопроводов, электропроводность которых в разы больше электропроводности почвы,

блуждающий ток будет протекать именно по ним. В наиболее удачном месте (с точки зрения того же самого принципа наименьшего сопротивления) блуждающий ток стечет с трубопровода обратно в землю и вернется к своему источнику. При этом участок трубопровода, из которого блуждающий ток выходит в землю, является анодом, а та часть трубопровода, где блуждающий ток попадает в него, является катодом. На анодных участках блуждающие токи повышенной плотности вызывают значительные коррозионные повреждения трубопроводов, скорость коррозии на них практически неограниченна и может достигать гигантских значений 10-20 мм/год.

Коррозия блуждающими токами от источников переменного тока [13]

Данный вид коррозии встречается в местах сближения и параллельного следования ВЛ напряжением 110 кВ и выше и магистральных трубопроводов.

Индукционная электрокоррозия представляет собой разновидность электрокоррозии, вызываемой переменными блуждающими токами. Данный вид коррозионного воздействия ранее не имел явного негативного проявления в связи с отсутствием во многих случаях условий практической реализации на подземных трубопроводах. Индукционное влияние линий высоковольтной электропередачи, подвешенных на опорах высотой от 10 и более метров над землей, уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от проводов до объекта влияния, т.е. подземного трубопровода. В связи с этим, переменный блуждающий ток, индуцируемый воздушными линиями электропередачи, на трубопроводах естественным образом снижается на 2-3 порядка.



Рисунок 3 - Схема коррозии блуждающими токами.

Вторым фактором, который также снижает степень коррозионной опасности индуцированных в трубопроводе переменных токов, является параллельное следование трасс трубопровода и ЛЭП. В этом случае происходит распределение индуцированного в трубопроводе тока на участках значительной протяженности, что в результате значительно снижает плотность тока обмена между трубопроводом и окружающим грунтом. Критерием опасности коррозионного влияния блуждающих переменных токов любого происхождения является плотность тока обмена при этом влиянии между трубопроводом и окружающей средой. Реальные необратимые коррозионные потери происходят при плотности тока не менее 100 мА/дм^2 или иначе 10 А/м^2 . Для сопоставления можно отметить, что в случае постоянных блуждающих токов, а также почвенной коррозии, реальная опасность коррозионного разрушения начинается с плотности анодного тока не менее $0,1 \text{ А/м}^2$, т.е. с величины на 2 порядка меньшей.

Однако реальная опасность индуцированных переменных блуждающих токов быстро и значительно возрастает в двух случаях: когда ограничена зона индукционного влияния и когда сокращается расстояние между линией электропередачи и объектом влияния, т.е. трубопроводом.

Первый случай повышения опасности индукционной коррозии возникает в местах пересечения линией электропередачи трассы трубопровода. При этом условии протяженность зоны индукционного

влияния сокращается обратно пропорционально синусу угла пересечения ЛЭП с трассой трубопровода. Хотя в пределе при ортогональном (под идеальным углом 90°) пересечении зона влияния стремится к нулю, практически такой идеал никогда не имеет места. Однако зона индукционного влияния (SBL) может сократиться до единиц или десятков метров (в пределах 1-3 трубных секций), в результате чего при прочих равных условиях плотность тока обмена в месте пересечения может возрасти на 2,0-2,5 порядка, что приведет к недопустимому превышению критерия безопасности.

Вторая ситуация повышенной опасности индукционной электрокоррозии имеет место в случае надземных трубопроводов, установленных на опорах. В этом случае сокращается расстояние между источником индукционного влияния и его объектом, т.е. трубопроводом, что вызывает пропорциональный рост индуцированного тока. Следует отметить, что в случае надземного трубопровода на металлических опорах возникает опасность разрушения как трубопровода, так и опоры, так как стекание тока из трубопровода в землю обычно происходит не через контактное соединение трубопровод/опора и затем в землю, а через образующиеся участки одновременного внешнего увлажнения трубопровода и опоры, поэтому анодные зоны возникают, как в местах увлажнения трубопровода, так и на частях опор, погруженных в грунт. Кстати, в случае, если трубопровод, например, защищен ППУ теплоизоляцией и металлической оболочкой, наибольшей опасности разрушения подвергается именно оболочка. До ее разрушения и последующего увлажнения ППУ изоляции разрушение самого нефтепровода происходить не будет.

Анализируя условия протекания индукционной электрокоррозии, следует обратить внимание на одно противоречивое, на первый взгляд, явление - опасность такого коррозионного разрушения трубопроводов в этой ситуации возрастает по мере улучшения состояния их изоляции в зоне индукционного влияния, т.е. по мере увеличения ее электрического

сопротивления. Причиной этого является сокращение размеров эквивалентной несплошности пор на поверхности более качественного изоляционного покрытия с высоким сопротивлением. При снижении эквивалентной площади поровой несплошности значительно возрастает плотность индуцированного тока обмена, т.к. общая величина индуцированного в трубопроводе тока мало контролируется величиной сопротивления электрического пробоя трубопровода на окружающий грунт.

Принимая во внимание всю описанную природу работы различных схем как индукционного коррозионного влияния блуждающих переменных токов на подземные трубопроводы, можно констатировать, что приоритет защитных мероприятий в этой ситуации должен принадлежать дренированию переменных токов из трубопровода в грунт через диодно-резисторные заземляющие устройства или поляризованные протекторные установки. В некоторых случаях снизить вредное влияние можно создавая заземленные экраны, например, заключая трубопровод в экранирующий металлический кожух или применяя протяженные экранирующие проводники

Коррозионное растрескивание под напряжением [13]

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) в магистральных трубопроводах (в основном магистральных трубопроводах) развивается в результате одновременного воздействия на металл коррозионной среды и растягивающих напряжений. Благодаря проведенным исследованиям, в настоящее время сформировалась водородно-коррозионная теория развития КРН в трубопроводах [2].

Формирование и развитие микротрещин в металле происходит в результате наводораживания трубной стали в местах дислокаций и вакансий кристаллической решетки и роста в них внутреннего давления до значений, превышающих эквивалент энергии связи атомов решетки. Само наводораживание происходит вследствие протекающих процессов диффузии

протонов (H^+), образующихся в результате гидролиза воды при повышенных потенциалах катодной защиты, диссоциации ряда неорганических соединений, таких как гидрокарбонаты, гидросульфиды и сульфиды, нитраты, аммонаты, фосфаты и т.д., жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих организмов.

После раскрытия трещин на поверхности трубы в местах повреждения изоляционного покрытия трубопровода происходит ускорение трещинообразования за счет коррозионного влияния электролита грунта, проникающего в трещины.

Конечный этап деструкции (включая долом трещин) контролируется условиями механической нагрузки на трубопровод, напряженно-деформированным состоянием трубной стали, а также ее прочностными характеристиками.

Микробиологическая коррозия [13]

Микробиологической коррозией (или биокоррозией) называют коррозию металла, которая возникает в результате жизнедеятельности микроорганизмов. В почвах и природных поверхностных водах содержится огромное количество микроорганизмов - бактерии, грибки, водоросли, простейшие и т.д. В настоящее время установлено, коррозию металла инициируют в большинстве случаев именно бактерии из-за высокой скорости их размножения и активности в химических преобразованиях окружающей среды. Для протекания процесса микробиологической коррозии вызывающие её бактерии должны находиться во влажной или водной среде, также им нужен азот, минеральные соли и ряд других элементов. Необходимо наличие вполне определённых внешних условий, при которых они начинают активно размножаться вблизи трубопровода, таких как:

- температура;
- давление;
- освещённость;

- концентрация водородных ионов;
- концентрация кислорода.

Микроорганизмы могут вызывать коррозию путём продуцирования веществ, вызывающих коррозию (например, кислот), создавая на поверхности металла условия, которые обуславливают появление на поверхности металла разности потенциалов и образования дополнительных анодных и катодных зон, с дальнейшим протеканием коррозионного процесса по электрохимическому механизму.

В случае магистральных трубопроводов наиболее часто встречается микробиологическая коррозия, инициируемая сульфатвосстанавливающими бактериями. Под действием этих бактерий на трубах образуются отдельные каверны. Продукты коррозии имеют чёрный цвет и запах сероводорода. Они содержат около 40% двухвалентного железа и 5% серы в виде сульфидов. Сульфатвосстанавливающие бактерии присутствуют практически во всех грунтах, но заметный коррозионный процесс происходит только тогда, когда присутствует их относительно большое число.

Итак, в настоящей статье мы кратко изложили виды и механизмы коррозии магистральных трубопроводов. Продолжение начатой темы, посвященное промышленным трубопроводам, ждите на нашем сайте в ближайшее время.

1.2. Способы борьбы с коррозией магистральных трубопроводов

Существует два способа защиты трубопроводов и резервуаров от почвенной коррозии: пассивный и активный [10].

К пассивной защите трубопроводов относятся изоляционные покрытия с различными материалами. – битумно-резиновые покрытия и покрытия из полимерных лент. Ко всякому противокоррозионному внешнему покрытию труб должны предъявляться следующие требования [23]:

- водонепроницаемость;
- прочность сцепления покрытия с металлом;
- хорошая изоляция от электрического тока;
- достаточная прочность и способность сопротивляться механическим воздействиям при засыпке траншеи;
- низкая стоимость.

При длительной эксплуатации трубопроводов [21], защищенных только изоляционными покрытиями, возникают сквозные коррозионные повреждения уже через 5-8 лет. Поэтому для долговечности, кроме защиты поверхности промышленных трубопроводов покрытиями, применяют активный способ защиты, к которому относятся катодная и протекторная защиты [20].

Сущность катодной защиты сводится к созданию отрицательного потенциала на поверхности трубопровода, благодаря чему предотвращаются утечки электрического тока из трубы, сопровождающиеся коррозионным разъемом [27]. С этой целью к трубопроводу подключают отрицательный полюс источника постоянного тока, а положительный полюс присоединяют к электроду-заземлителю, установленному в стороне от трубопровода. Таким образом, трубопровод – анод, а электрод-заземлитель – катод. В результате возникает односторонняя проводимость, исключая обратное течение тока. Исключение таким образом утечек токов из трубы прекращает ее коррозию. Применяют станции катодной защиты СКЗ, одна СКЗ обслуживает трубопровод протяженностью 10-15 км.

Протекторная защита осуществляется при помощи электродов, закапываемых в грунт рядом с защищаемым сооружением [12]. Протекторная защита имеет те же основы, что и катодная защита. Разница заключается лишь в том, что необходимый для защиты ток создается не станцией катодной защиты, а самим протектором, имеющим более отрицательный потенциал, чем защищаемый объект. Наибольшее распространение при изготовлении протекторов получили магний и цинк.

Для предохранения трубопроводов от внутренней коррозии применяют различные лаки, эпоксидные смолы, цинко-силикатные покрытия и ингибиторы коррозии. Ингибиторы коррозии способны создавать барьер между коррозионной средой и металлом. Необходимо тщательно подбирать ингибиторы для конкретных условий эксплуатации оборудования [13].

Защита трубопроводов от коррозии должна обеспечивать их безаварийную (по этой причине) работу на весь период эксплуатации. При всех способах прокладки, кроме надземной, трубопроводы подлежат комплексной защите от коррозии защитными покрытиями и средствами электрохимической защиты, независимо от коррозионной агрессивности грунта.

Для сведения к минимуму риска коррозионных повреждений трубопроводы защищают антикоррозионными покрытиями и дополнительно средствами электрохимзащиты. При этом изоляционные покрытия обеспечивают первичную ("пассивную") защиту трубопроводов от коррозии, выполняя функцию "диффузионного барьера", через который затрудняется доступ к металлу коррозионноактивных агентов (воды, кислорода воздуха). При появлении в покрытии дефектов предусматривается система катодной защиты трубопроводов - "активная" защита от коррозии [13].

При надземной прокладке трубопроводы защищают от атмосферной коррозии металлическими и неметаллическими покрытиями в соответствии с НД на эти покрытия. Участки трубопроводов при надземной прокладке должны быть электрически изолированы от опор. Общее сопротивление этой изоляции при нормальных условиях должно быть не менее 100 кОм на одной опоре [11].

Все трубопроводы (кроме проложенных надземно) независимо от условий эксплуатации подлежат электрохимической защите. Электрохимическая защита должна обеспечивать в течение всего срока эксплуатации непрерывную по времени катодную поляризацию трубопровода на всем его протяжении (и на всей его поверхности) таким образом, чтобы

значения потенциалов на трубопроводе были (по абсолютной величине) не меньше минимального и не больше максимального значений [14].

Долговечность и безаварийность работы трубопроводов напрямую зависит от эффективности их противокоррозионной защиты.

1.2.1. Активная защита магистральных трубопроводов от коррозии

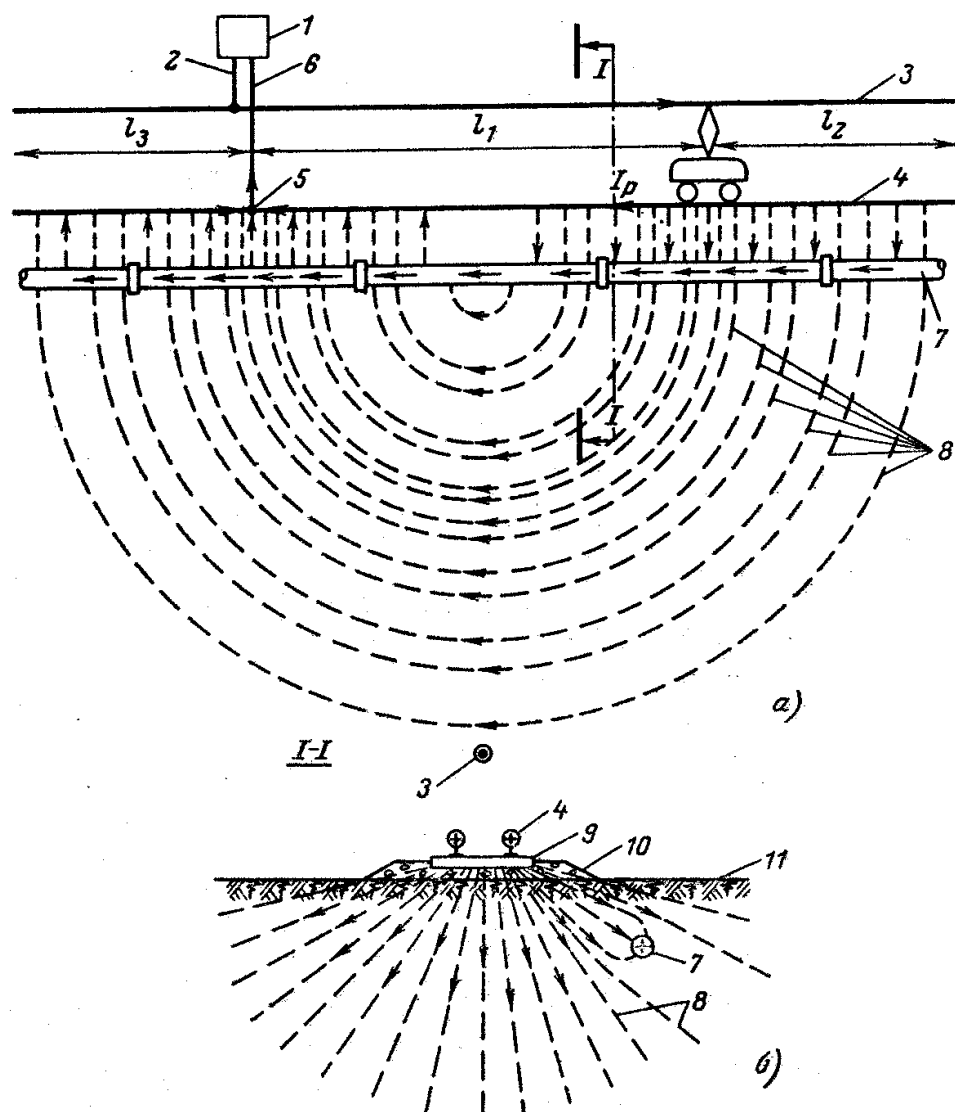
Коррозия трубопроводов, вызываемая блуждающими токами железных дорог, электрифицированных на переменном токе [13]

Характер поля блуждающих токов зависит от ряда трудно учитываемых факторов. Ток, потребляемый транспортом, зависит от скорости движения и веса состава, профиля пути и т. д. и изменяется от максимальных значений до нуля. Существенное влияние на характер распределения поля блуждающих токов оказывают состав грунта, его влажность, величина переходного сопротивления между шпалами и землей.

Электрический ток, протекающий через металлическое сооружение, смонтированное в почве или морской воде, влияет на скорость коррозии при его стекании с металла в грунт.

Возникновение токов обусловлено с работой электрических устройств, использующих в качестве проводника тока землю или заземленный металл. Сила и направление таких токов могут изменяться во времени.

Эти токи получили название блуждающих. В местах входа блуждающих токов в трубопровод и выхода из него в землю протекают электрохимические реакции. В зоне входа в него происходит катодный процесс, в местах выхода тока в грунт образуются анодные участки (рис. 4).



1 — преобразовательная подстанция; 2 — питающая линия; 3 — контактный провод; 4 — рельсы; 5 — отсасывающий пункт; 6 — отсасывающая линия; 7 — подземное сооружение (трубопровод, кабель); 8 — воображаемые линии блуждающих токов в земле; 9 — шпалы; 10 — балласт; 11- грунт

Рисунок 4 — Упрощенная картина распределения блуждающих токов вдоль электрической железной дороги и параллельно проложенного металлического подземного сооружения (а) и поперечный разрез на том же участке по (б):

Поскольку рельсы не изолированы от земли, часть тока ответвляется от них в землю и затем возвращается в рельсы в зоне отсасывающего пункта. Эту часть тяговых токов (токи утечки из рельсов) и называют блуждающими токами.

При прохождении через грунт блуждающие токи частично «натекают» на металлические подземные сооружения. В зонах входа блуждающих токов подземные сооружения имеют отрицательный потенциал относительно грунта. Эти зоны называют катодными. Зоны, в которых блуждающие токи покидают подземное сооружение, называют анодными. С анодных зон токи возвращаются в рельсы. В этих зонах, как и при почвенной электрокоррозии, происходит коррозионное разрушение металла подземных сооружений блуждающими токами. Количество металла, выносимого из сооружения в грунт, пропорционально значению блуждающих токов, проходящих через металлические части сооружений, и времени их действия.

Характер поля блуждающих токов зависит от ряда трудно учитываемых факторов. Ток, потребляемый транспортом, зависит от скорости движения и веса состава, профиля пути и т. д. и изменяется от максимальных значений до нуля. Существенное влияние на характер распределения поля блуждающих токов оказывают состав грунта, его влажность, величина переходного сопротивления между шпалами и землей.

Интенсивность блуждающих токов и их влияние на подземные трубопроводы зависит от таких факторов, как:

- переходное сопротивление рельс-земля;
- продольное сопротивление ходовых рельсов;
- расстояние между тяговыми подстанциями;
- потребление тока электропоездами;
- число и сечение отсасывающих линий;
- удельное электрическое сопротивление грунта;
- расстояние и расположение трубопровода относительно пути;
- переходное и продольное сопротивление трубопровода.

Основной величиной, характеризующей интенсивность процесса "электрокоррозии", является плотность тока. Однако практически можно измерить только линейную плотность тока, т. е. силу тока, стекающего с единицы длины подземного трубопровода.

Блуждающие токи помимо плотности характеризуются и значением потенциала его по отношению к ближайшей точке земли. Тем не менее, значение потенциала указывает лишь на возможность коррозионного процесса, т.е. на вход или стекание тока с сооружения, но не позволяет оценить количество разрушенного металла.

Большую опасность представляет собой неравномерное распределение стекающего тока, так как неравномерность утечки приводит к локальному разрушению подземного сооружения.

Переменный блуждающий ток также опасен, но скорость разрушения металла им в несколько раз меньше, чем постоянным.

Блуждающие токи могут выводить из строя незащищенные или плохо защищенные подземные сооружения в течение нескольких недель или месяцев.

Основными источниками блуждающих токов в земле для подземных металлических сооружений (ПМС) являются электрифицированные железные дороги (магистральные и пригородные), метрополитен, трамваи, промышленный карьерный и рудничный транспорт.

Блуждающие токи можно разделить на две группы: статические и динамические.

Статические блуждающие токи характеризуются постоянной во времени амплитудой и постоянными линиями распространения в электролитной среде. Примером могут служить блуждающие токи электролизных цехов.

Весьма широко распространены динамические блуждающие токи, которые непрерывно меняют свою амплитуду и путь прохождения. Для выявления их коррозионной опасности необходимо измерять потенциал конструкции, так как эти токи не имеют постоянного значения. Колебания потенциала свидетельствуют о появлении блуждающих токов.

На рисунке 5 изображен участок диаграммной ленты, показывающий изменение во времени стального трубопровода под действием блуждающих токов.

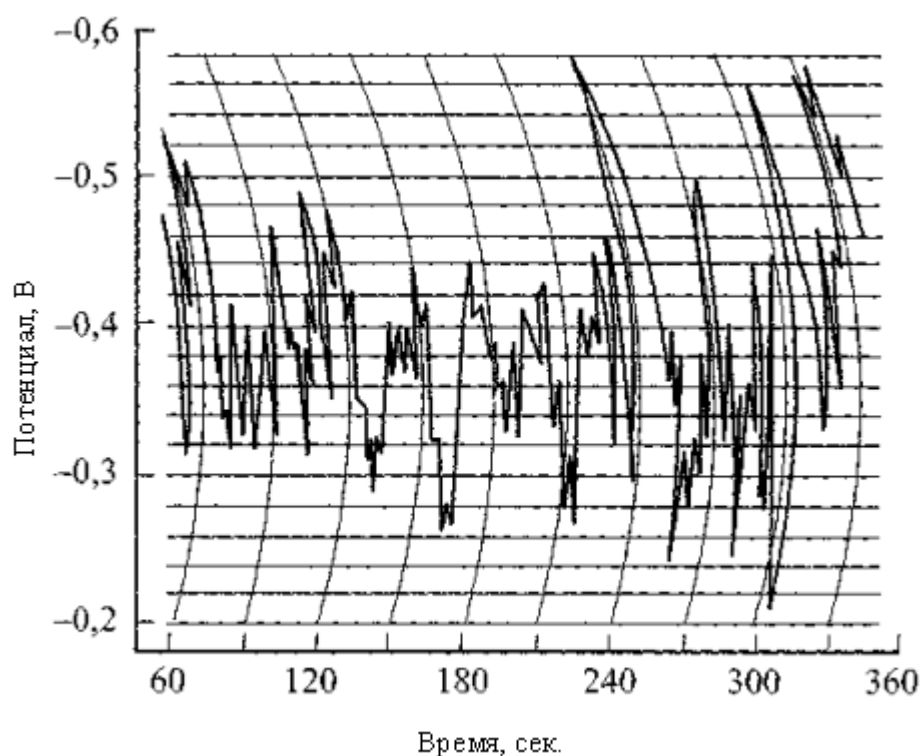


Рисунок 5 – Колебания потенциала стального трубопровода под влиянием блуждающих токов

При измерениях потенциала вдоль подземной конструкции (например, стальной трубы) можно обнаружить катодные и анодные участки действия блуждающих токов (рис. 6).

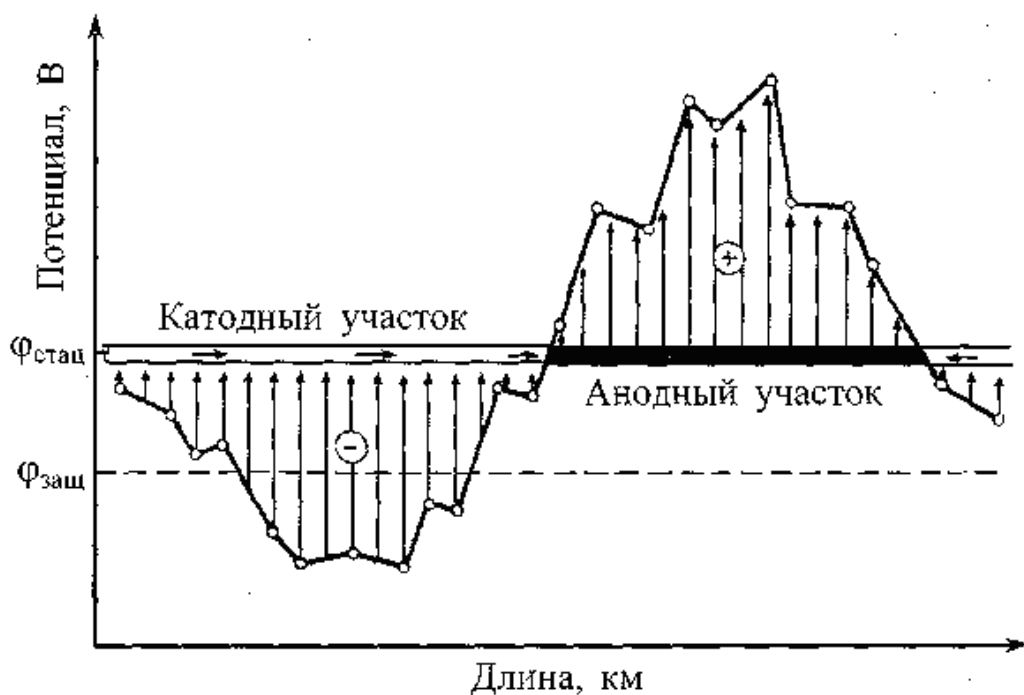


Рисунок 6 – Изменение потенциала вдоль подземного трубопровода.
Стрелки показывают направление блуждающих токов

Отдельные участки конструкции могут характеризоваться постоянной во времени полярностью (например, на определенном отрезке трубопровода все время существует катодная зона) или же полярностью, переменной во времени (знакопеременные зоны).

В постоянной катодной зоне конструкция находится под частичной или полной катодной защитой. В постоянной анодной зоне возникает усиленная коррозия.

Степень коррозионной опасности в знакопеременной зоне определяется при систематических определениях потенциала. На основании полученных кривых потенциал-время производится анализ отклонений потенциала в положительную и отрицательную сторону от стационарного значения (для стали = -0,55 В относительно медно-сульфатного электрода), после чего определяется коэффициент несимметричности знакопеременных блуждающих токов и оценивается коррозионная опасность для той точки конструкции, где проводились измерения.

Если коэффициент несимметричности менее 0,3, то опасность отсутствует, 0,3-0,6 – умеренная, выше 0,6 – высокая опасность.

Наличие блуждающих токов в земле на трассе проектируемого трубопровода определяют по результатам измерений разности потенциалов между проложенными в данном районе подземными металлическими сооружениями и землей.

При отсутствии подземных металлических сооружений наличие блуждающих токов в земле на трассе проектируемых трубопроводов следует определять, измеряя разность потенциалов между двумя точками земли через каждые 1000 м по двум взаимно перпендикулярным направлениям при разное измерительных электродов на 100 м.

В качестве вольтметра используют высокоомные приборы. Отсчет ведется через каждые 5-10 с в течение 10-15 мин в каждом пункте измерения. Перпендикулярный вариант измерений наиболее рационален.

Если измеряемая разность потенциалов устойчива, т. е. не изменяется по величине и знаку, это указывает на наличие в земле токов почвенного происхождения, либо токов от линии передач постоянного тока по системе «провод-земля».

Если измеряемая разность потенциалов имеет неустойчивый характер, т. е. изменяется по величине и знаку или только по величине, это указывает на наличие блуждающих токов от электрифицированного транспорта.

Влияние на подземные трубопроводы высоковольтных ЛЭП переменного тока [13]

Высоковольтная линия электропередачи (ЛЭП) оказывает опасное влияние на проходящий вблизи нее стальной трубопровод:

- при параллельном следовании трубопровода и ЛЭП (от 100 до 1000 м для ВЛ-500 кВ, от 100 до 500 м для ВЛ-330 кВ, 100 м для ВЛ-220 и 110 кВ);
- в местах пересечения трубопровода и ЛЭП;

- в местах сближений и удалений трубопроводов и ЛЭП.

Опасное влияние ЛЭП на трубопровод выражается в следующем:

1. ЛЭП создает переменное электромагнитное поле, которое оказывает влияние на подземный трубопровод (рис. 7). Результат этого взаимодействия – индукция, которая приводит к возникновению в трубопроводе продольной электродвижущей силы (ЭДС), что в свою очередь может привести к:

- угрозе безопасности персонала;
- возникновению электролитической коррозии от переменного тока;
- повреждению электрических устройств, связанных с трубопроводом.

2. В случае обрыва или повреждения ЛЭП трубопровод может непосредственно оказаться под напряжением в несколько тысяч вольт.

3. Опоры ЛЭП являются потенциально опасными в условиях возникновения атмосферных перенапряжений (грозовых разрядов), что требует применения соответствующих устройств защиты трубопровода (грозозащиты).

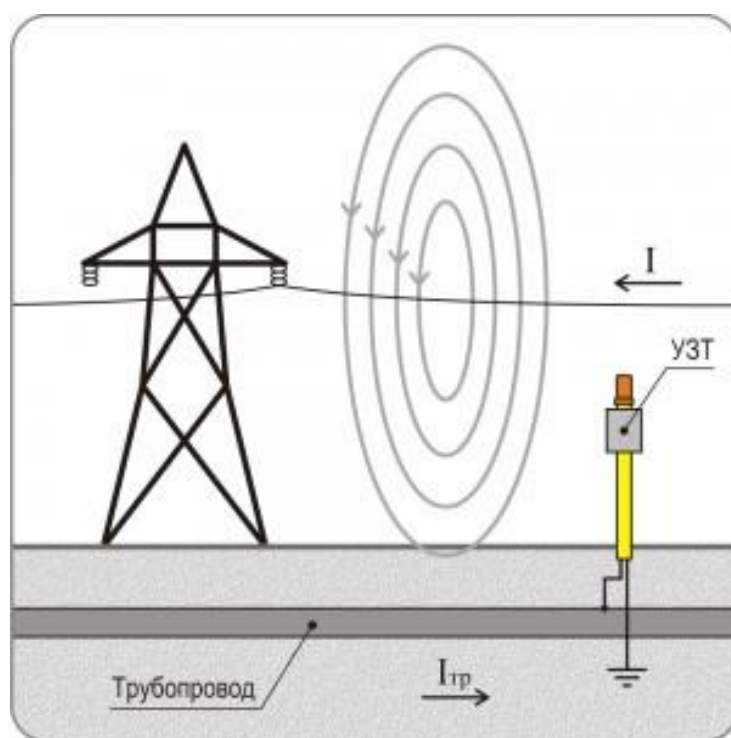
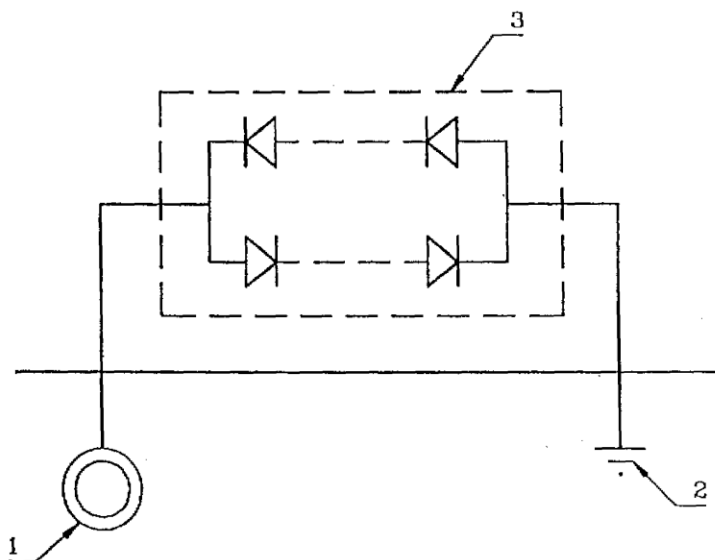


Рисунок 7 – Схема расположения ЛЭП и трубопровода

Для снижения влияния высоковольтных линий электропередачи применяется устройство защиты трубопровода от воздействия наведенного переменного тока (рис.8).



1 - подземное сооружение; 2 - заземляющее устройство; 3 - устройство защиты подземных сооружений от влияния ЛЭП переменного тока
Рисунок 8 – Схема устройства защиты трубопровода от воздействия наведенного переменного тока

Устройство защиты трубопровода (УЗТ) является элементом системы электрохимической защиты трубопроводов от коррозии и обладает следующими функциями:

- отводит от трубопровода через заземление индуцированный высоковольтной линией электропередачи переменный ток;
- в отличие от стандартного заземления трубопровода предотвращает утечку защитного потенциала электрохимической защиты;
- позволяет измерить отводимый переменный ток через встроенный в УЗТ трансформатор;
- оснащено устройством грозозащиты.

Контроль опасности от коррозии переменными токами должен осуществляться два раза в год (осень, весна) при сезонных измерениях защитных потенциалов нефтепровода:

- на расстоянии не более 20 м от пересечения нефтепровода и ВЛ;
- в месте наибольшего приближения нефтепровода к ВЛ;
- на участках высокой коррозионной опасности;
- в начале, середине и в конце участка параллельного следования. При длине участка более 10 км контроль коррозии должен осуществляться в точках участка параллельного следования, расположенных друг от друга на расстоянии не более 5 км.

*Мероприятия по устранению влияния на трубопровод
железных дорог и ЛЭП переменного тока*

Коррозионные процессы, вызываемые блуждающими токами, накладываются на процессы, вызываемые почвенной коррозией. Совпадение анодных зон коррозионных пар и блуждающих токов ведет к усилению коррозии.

Коррозия подземных металлических сооружений зависит от соотношения интенсивности почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами. Принципиальная особенность коррозии блуждающими токами в том, что ее скорость практически не ограничена скоростью доставки кислорода, как при почвенной коррозии.

Сила блуждающего тока определяется не доставкой кислорода к катодной поверхности, а переходными сопротивлениями в системе «рельс-земля-подземное сооружение».

Решающее значение имеет не сила блуждающего тока, а его плотность в анодной зоне подземного сооружения. Дополнительное коррозионное разрушение под действием блуждающего тока становится заметным, когда его плотность достигает уровня скорости почвенной коррозии, выраженной в единицах плотности тока. Однако плотность блуждающего тока в анодной зоне очень часто в десятки и более раз выше, чем скорость почвенной коррозии. В этих случаях скоростью последней вообще можно пренебречь и относить все коррозионное разрушение за счет блуждающего тока.

В соответствии с законом Фарадея потери от электрохимической коррозии для железа равны 9,1 кг/(А·год). Таким образом, при плотности тока 1 А/м (0,1 мА/см²) скорость коррозии равна $9,1/8,76=1,1$ мм/(А·год) [23].

На трубопроводы могут натекают токи силой в сотни ампер, при наличии покрытия на сооружении они могут стекать лишь с мест повреждений в покрытии. Поэтому плотность стекающих токов в отдельных случаях очень велика.

В практике встречаются случаи, когда в анодных зонах действия блуждающих токов сквозные отверстия в стенках труб образуются через несколько месяцев после прокладки трубопровода.

Необходимо иметь в виду, что это происходит лишь в том случае, если протекание анодного блуждающего тока не приводит к пассивации металла. Если наступает пассивация, то потенциал металла смещается в область выделения кислорода. В этом случае блуждающие токи в значительной степени расходуются на выделение кислорода, и лишь некоторая их часть — на разрушение металла.

В реальных условиях протекания процесса электрохимической коррозии стальных трубопроводов в анодных зонах основными факторами, определяющими потери металла по массе, являются параметры наложенного тока.

Между интегральным значением тока утечки рельсовой сети и максимальным значением тока, протекающего по подземному сооружению, существует определенная зависимость. При прочих равных условиях эффективное снижение плотности тока, стекающего с трубопровода, можно получить в пределах удаления его от трассы рельсового пути на 100-200 м.

При достаточно хорошей изоляции трубопровода изменение его диаметра слабо сказывается на силе тока, натекающего на трубопровод.

Соппротивление изоляции подземного сооружения является наиболее существенным фактором ограничения блуждающих токов, натекающих на

трубопровод. В хорошо изолированном трубопроводе ток уменьшается в сотни и более раз.

Это свидетельствует о том, что применение совершенных покрытий для подземных металлических сооружений является одним из самых эффективных средств ограничения натекания блуждающих токов на сооружение.

Методы отвода дренажных токов и виды электродренажей в зонах влияния: блуждающих токов от действия электрифицированных железных дорог и ЛЭП переменного тока [13]

Для предотвращения больших утечек тока необходимо обеспечить соответствующее состояние рельсового пути:

- разность потенциалов между отсасывающими пунктами сети при отсутствии дренажных защитных устройств не должна превышать 1 В, при наличии дренажей – 2 В;
- сопротивление каждого рельсового стыка с приваренными электрическими соединителями не должно превышать сопротивление рельса длиной 2,5 м;
- электрические соединители необходимо установить на каждом сборном стыке, обходные – на сборных стрелках, крестовинах и т. д., а междурельсовые через каждые 300-600 м между рельсами двух соседних линий.

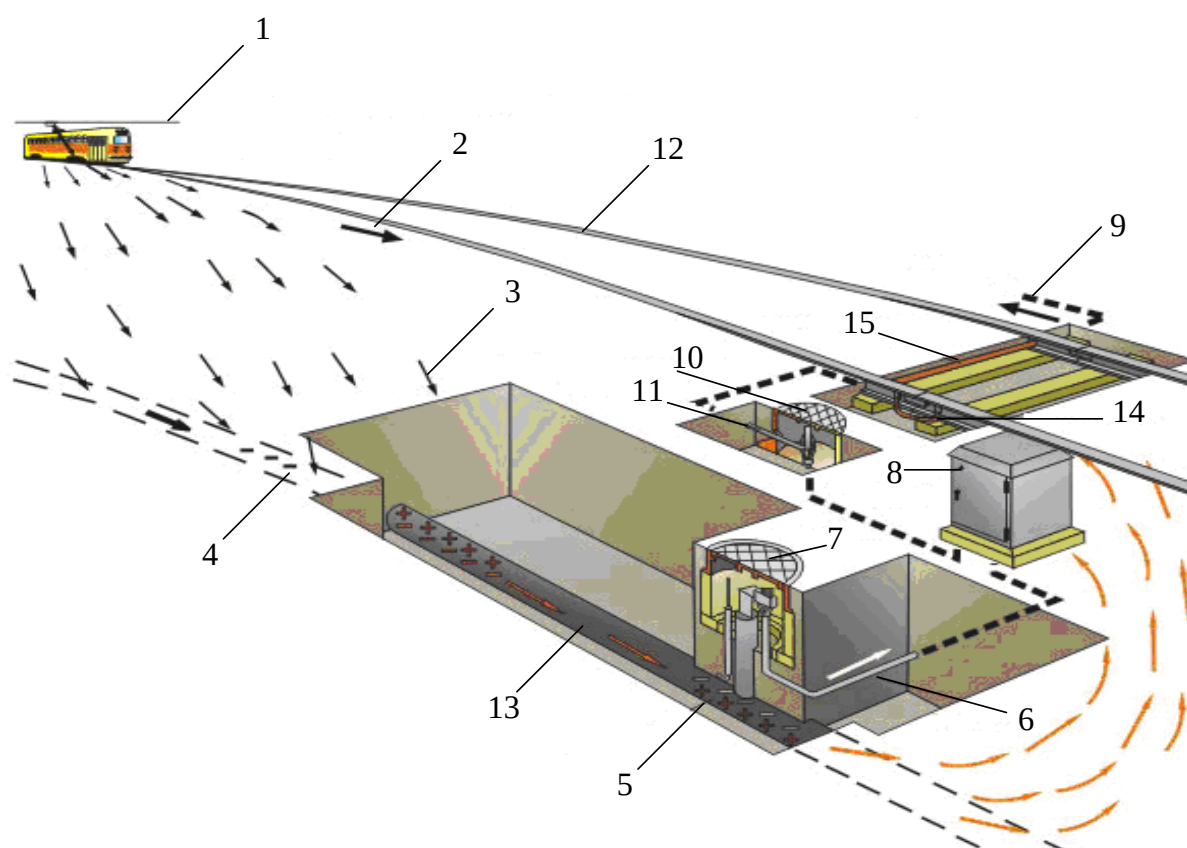
Кроме того, для уменьшения действия блуждающих токов применяют увеличение переходного сопротивления рельс-земля путем укладки рельсов на шпалы, пропитанные диэлектриками, бетонные шпалы и т. д.

Места наибольшего сближения рельсов с трубопроводами должны быть хорошо изолированы. Для этого трубопровод укладывают в кожухи, которые не имеют битумной изоляции. Трубопровод надежно изолируют от кожухов с помощью изоляторов.

1.2.2. Принцип действия электродренажной защиты.

Для электрохимической защиты трубопроводов, находящихся в зонах действия блуждающих токов, используются электрические дренажи, катодные станции и протекторы [26].

Электрический дренаж, соединяя трубопровод с тяговыми рельсами, включает источник тока в эту цепь — разность потенциалов «трубопровода-рельс» ($U_{\text{т-р}}$), возникающую в результате работы электрифицированного транспорта. Протекание дренажного тока создает смещение потенциала на подземном сооружении. Подбором значения сопротивления дренажного соединения можно достичь необходимого защитного потенциала на сооружении (рис.9).



1 – контактный провод; 2 – ток в рельсах; 3 – блуждающий ток; 4 – катодная зона; 5 – анодная зона; 6 – дренажный кабель; 7 – контактное устройство; 8 – электродренажная установка; 9 – отсасывающий фидер в тяговой подстанции; 10 – переходное устройство; 11 – соединительный канал; 12 – рельс; 13 – трубопровод; 14 – стыковая перемычка; 15 – междурельсовое соединение

Рисунок 9 – Принципиальная схема дренажной защиты

Присоединяемое к рельсам посредством дренажа подземное сооружение является для них заземлителем, что вызывает изменение потенциальной диаграммы рельсовой сети и увеличение блуждающих токов. При этом дренажные токи всегда больше блуждающих токов, протекающих в подземном сооружении до включения защиты, причем, чем хуже изоляция трубопровода, тем эта разница выше.

Дренажная защита трубопроводов от электрокоррозии обеспечивается отводом блуждающих токов с сооружения к источнику этих токов. Дренаж осуществляется путем электрического соединения трубопровода через дренажное устройство с отрицательной шиной тяговой подстанции или с отсасывающим пунктом, или с рельсами электрифицированного транспорта.

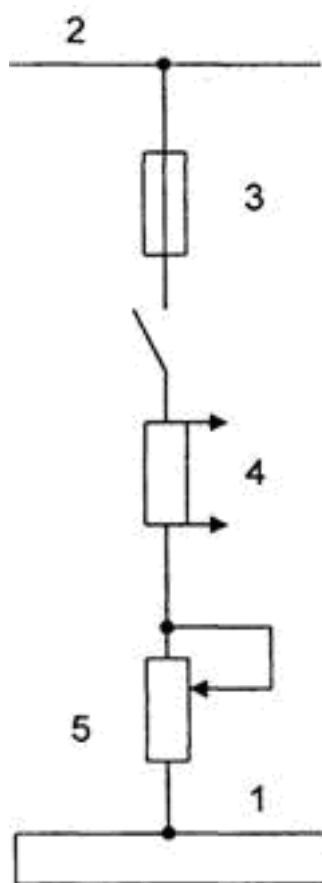
Электрические дренажи могут быть прямые, поляризованные и усиленные.

Прямой электрический дренаж обладает двусторонней проводимостью, т. е. ток беспрепятственно протекает как с трубопровода в рельсовую сеть, так и в обратном направлении.

Поляризованный дренаж отличается от прямого лишь тем, что он обеспечивает протекание тока по дренажному соединению только в одном направлении — с трубопровода в рельсы.

Принципиальная схема прямого электрического дренажа (рис. 10) позволяет регулировать (реостатом), ограничивать (предохранителями) и контролировать (по амперметру) силу дренируемого тока.

Кроме того, в схеме дренажа имеется сигнальное реле, включаемое параллельно предохранителю и срабатывающее при его перегорании.



1 – трубопровод; 2 – рельс; 3 – предохранитель; 4 – шунт для амперметра;
5 – реостат

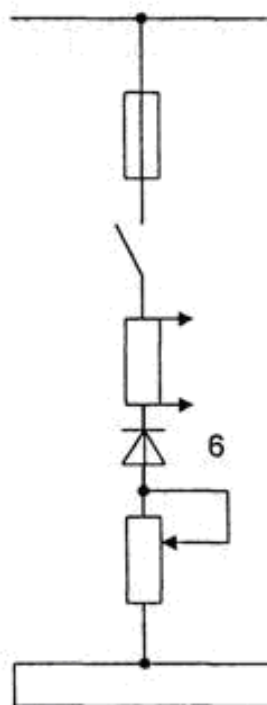
Рисунок 10 – Электрическая схема прямого дренажа

Поляризованный дренаж применяется, когда потенциал защищаемого сооружения по отношению к рельсам или шине, либо по отношению к земле положительный или знакопеременный и когда разность потенциалов сооружение-рельсы больше разности потенциалов сооружение-земля.

Принципиальная схема поляризованного дренажа (рис. 11) отличается от прямого дренажа лишь тем, что в нее введен вентильный элемент, обеспечивающий протекание тока по дренажному соединению только в одном направлении с оболочек кабеля в рельсы.

Однопроводность дренажного устройства может быть получена различными путями. Некоторые из конструкций поляризованных дренажей обеспечивают автоматическое поддержание заданного значения

дренируемого тока или значения защитного потенциала в точке включения дренажного устройства.



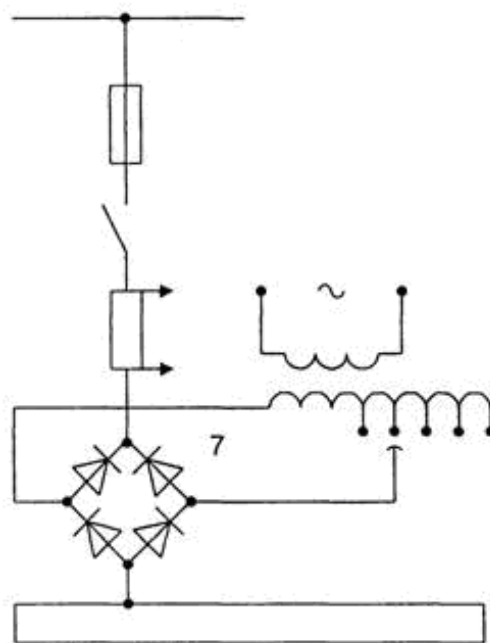
6 – вентильный элемент

Рисунок 11 – Электрическая схема поляризованного дренажа

Усиленный электрический дренаж применяется, когда сооружение имеет положительный или знакопеременный потенциал по отношению к земле, обусловленный действием нескольких источников блуждающих токов, либо когда это экономичнее, чем увеличение сечения дренажного кабеля.

Принципиальная схема усиленного электродренажа с выпрямителем на германиевых диодах изображена на рисунке 12.

Усиленный дренаж представляет собой обычную катодную станцию (выпрямитель) с той разницей, что она подключается отрицательным полюсом к защищаемому сооружению, а положительным полюсом — к рельсам. Такой дренаж кроме отвода тока в одном направлении усиливает эффект защиты катодной станции, анодным заземлением которой являются рельсы.



7 – выпрямитель

Рисунок 12 – Электрическая схема усиленного дренажа

Усиленные дренажи используются для защиты от коррозии в тех случаях, когда применение поляризованных дренажей не эффективно или не оправдано по экономическим показателям.

При защите от блуждающих токов подключение кабеля к трубопроводу выбирается на таком участке, где средние значения положительных потенциалов трубопровода по отношению к земле максимальны [26].

Технические требования к электродренажным установкам.

Выбор электродренажной установки [28]

Дренажную защиту применяют при минимальных значениях дренажного тока, обеспечивающих отсутствие на сооружении анодных и знакопеременных зон. Если применение поляризованных дренажей неэффективно или неоправданно по технико-экономическим показателям, то используют катодную защиту, защиту усиленными дренажами или катодную защиту совместно с дренажной.

Не допускается непосредственно присоединять установки дренажной защиты к отрицательным шинам и к сборке отрицательных линий тяговых подстанций.

Для повышения эффективности электрохимической защиты необходимо предусматривать электроизолирующие вставки или соединения (фланцы, муфты и т.п.) в соответствии с НД.

Требования стойкости к внешним воздействующим факторам.

1. Защита от атмосферных (грозовых) перенапряжений на сторонах питания и нагрузки должна быть обеспечена устройством защиты от грозовых перенапряжений до 1500 В.

2. Установки дренажной защиты должны иметь климатическое исполнение У категории размещения 1 (эксплуатация на открытом воздухе) для работы при температурах от минус 45 °С до плюс 45 °С, в атмосфере типа II и при относительной влажности до 98 % при температуре 25 °С и климатическое исполнение ХЛ категории размещения 1 (для эксплуатации на открытом воздухе) для работы при температурах от минус 60 °С до плюс 40 °С, в атмосфере типа II и при относительной влажности до 98 % при температуре 25 °С.

3. Установки дренажной защиты должны иметь степень защиты от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с токоведущими частями не ниже IP34.

4. Окружающая среда должна быть не взрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли и агрессивных газов или газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

Требования назначения [11].

1. Номинальный выходной ток до 500 А.

2. Номинальное выходное напряжение до 12 В (для усиленных дренажей).

3. Номинальная выходная активная мощность - от 0,6 до 3,0 кВт (для УД).

4. Полная потребляемая мощность - не более 3,5 кВА (для УД).
5. Напряжение питающей сети, 220 В, (для УД).
6. Частота питающей сети, 50 Гц (для УД).
7. Число фаз - 1 (для УД).
8. Коэффициент мощности в номинальном режиме - не менее 0,75 (для УД).
9. Обеспечение удвоения выходного напряжения (за счёт переключения выводов) при токе нагрузки до 0,5 I_{ном}. (для УД).
10. Возможность работы с сопротивлением нагрузки от 0,1 R_{ном}. (для УД).
11. Коэффициент полезного действия - не менее 70 % (для УД);
12. Пульсация тока на выходе станций дренажной защиты - не более 3 % (для УД).
13. Регулирование уставки защитного потенциала - от 0,5 до 3,5 В (для УД).
14. Регулирование уставки включения счётчика времени наработки - от 0,5 до 3,5 В (для УД).
15. Плавное или ступенчатое регулирование выходных параметров по напряжению или току - от 10 % до 100 % номинальных значений (для УД).
16. Входное сопротивление регулирующих устройств на выходах подключения электродов сравнения - не менее 10 Мом (для УД).
17. Обеспечение стабильности тока и потенциала - с погрешностью, не превышающей 2,5 % от заданного значения (для УД).
18. Напряжение срабатывания защиты дренажей должно быть более обратного напряжения вентилей, которые применяются, но не менее 250 В.
19. Защита от внешних и внутренних замыканий и перегрузок.
20. Автоматическое поддержание режима работы УДЗ без принудительного уравнивания потенциалов в точках дренажа на совместно защищаемых трубопроводах.
21. Возможность измерения поляризационного потенциала.

Требования к конструктивно-технологическим характеристикам [11]

1. Включение в конструкцию установки дренажной защиты устройства для обеспечения электробезопасности: технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.), которые устанавливаются техническими условиями на УДЗ с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

2. Возможность ручного регулирования и телерегулирования выходного тока и напряжения.

3. Выполнение оборудования по блочно-модульному типу.

4. Доступность к элементам, подлежащим регулированию и настройке.

5. Оснащение блоком сопряжения для обеспечения работы с различными комплексами телемеханики (для УД).

6. Оборудование системой дистанционного контроля силы тока защиты, напряжения на выходе станции, потенциала «труба-земля» (по каждому трубопроводу), показания счетчика времени наработки УДЗ и показаний счетчика активной электроэнергии, измерения защитного потенциала в точке дренажа при включенной и отключенной УДЗ и от несанкционированного открывания дверей УДЗ. Дистанционное регулирование выходного напряжения должно осуществляться в пределах от нулевого до номинального значения сигналом от 4 мА до 20 мА постоянного тока или сигналом постоянного напряжения от 1 до 5 В.

7. Максимальная температура обмоток трансформатора и дросселя – 120 °С.

8. Габариты - 600x400x1200 мм (максимальные размеры).

9. Масса - до 200 кг.

Требования надежности [11]

1. Установленный срок службы - не менее 10 лет.

2. Вероятность безотказной работы на наработку вновь разрабатываемых установок дренажной защиты - 10000 ч.

3. Гарантийный срок со дня ввода в эксплуатацию 3 года.

Требования безопасности [11]

1. Установки дренажной защиты должны обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию, при эксплуатации и укомплектовываться документацией по эксплуатации, содержащей требования (правила), предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации.

2. Установки дренажной защиты должны обеспечивать безопасность обслуживания по классу защиты 01 (иметь рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания).

3. Соединительные кабели в установках дренажной защиты должны быть с полимерной шланговой изоляцией токоведущих жил без металлической оболочки.

4. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетокведущим частям УДЗ, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, должны применяться следующие способы: защитное заземление, зануление, защитное отключение, изоляция токоведущих частей, электрическое разделение сети, контроль изоляции, средства индивидуальной защиты (для УД).

Требования эргономики [11]

1. Расположение измерительных приборов – должно обеспечивать свободный съем их показаний, находиться на высоте не менее 1,2 м и не более 1,7 м и находиться в свободном доступе для обслуживающего персонала.

2. Оси регулировочных резисторов должны быть оснащены рифлеными ручками.

3. Окрашенные поверхности УДЗ должны относиться к категории размещения группы условий эксплуатации У1, иметь показатели внешнего вида не ниже IV класса. Окраска изделий должна быть светлых тонов (серый цвет).

Требования к эксплуатационным характеристикам [11]

1. Автоматическое восстановление режима работы после восстановления отключенного напряжения (для УД).
2. Сохранение работоспособности при изменении напряжения питающей сети- от 160 до 250 В (для УД).
3. Работа без профилактического обслуживания и ремонта - не менее 6 месяцев.

1.2.4. Протекторная защита

При прокладке магистральных трубопроводов в труднодоступных районах часто отсутствуют линии электропередачи. Поскольку сооружение для питания установок катодной защиты связано с большими затратами, то в этом случае применяют протекторную защиту (рис. 13).

Протекторная защита – это разновидность катодной защиты, не требующая внешнего источника тока. Необходимый для защиты электродный поляризационный ток создает электрохимический элемент, в котором роль катода играет металл защищаемого сооружения, а роль анода - более электроотрицательный металл (магний, цинк и их сплавы) [27].

Так как мощность одного протектора невелика, в проектах защиты от коррозии подземных сооружений рекомендуется размещать их группами или выполнять в виде протяженных лент. Согласно исследованиям, протекторные установки рекомендуется устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением, не превышающим 50 Ом·м.

Протекторная защита на трубопроводах применяется для защиты трубопроводов относительно небольшой протяженности, имеющих

наружную изоляцию и не имеющих электрических контактов с другими сооружениями.

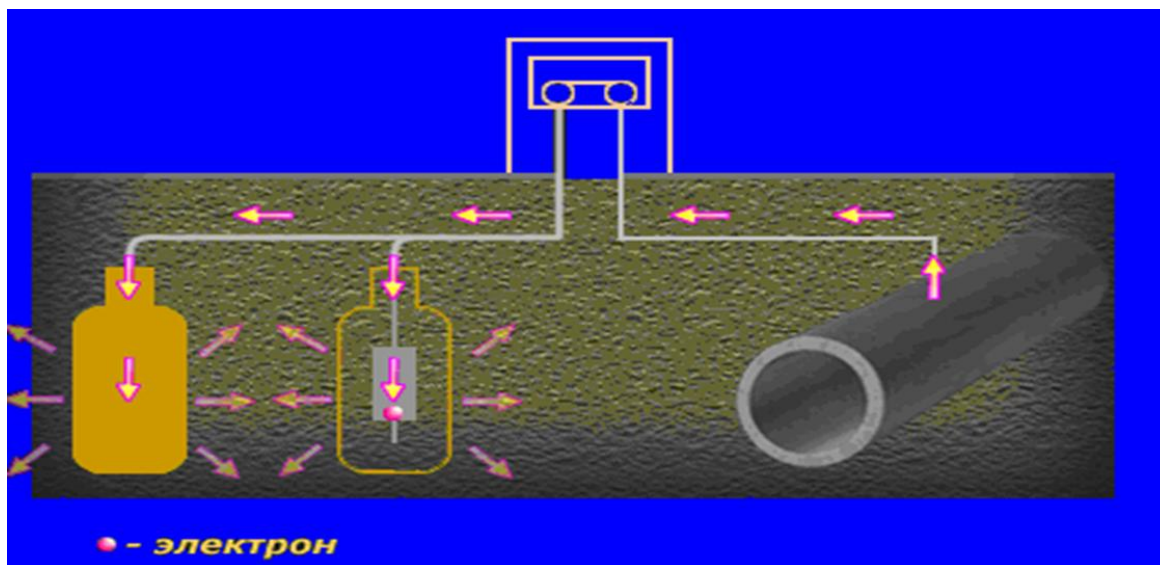


Рисунок 13 – Принцип действия протекторной защиты

В качестве протекторов, применяемых для защиты стальных сооружений, могут использоваться все металлы, имеющие более электроотрицательный потенциал, чем железо. Наибольшее распространение получили магний, цинк и алюминий. При производстве некоторых специальных протекторов используются также ниобий, серебро, золото, платина и др. металлы.

Чистые металлы — магний, алюминий, цинк — не получили практического применения для изготовления протекторов, так как магний имеет сравнительно низкую токоотдачу, а алюминий и цинк склонны к пассивации. Поэтому для протекторов при защите подземных сооружений чаще всего в качестве основы используют магний [27].

Введение добавок позволяет получить сплавы с более отрицательными, чем у основного металла, потенциалами, которые могут оставаться активными, равномерно разрушаться. В магниевые сплавы для протекторов вводят добавки алюминия, цинка и марганца.

Алюминий улучшает литейные свойства сплава и повышает механические характеристики, но при этом немного снижается потенциал.

Цинк облагораживает сплав и уменьшает вредное влияние таких примесей, как медь и никель, позволяя повышать их критическое содержание в сплаве.

Марганец вводят в сплав для осаждения примесей железа. Кроме того, он повышает токоотдачу и делает более отрицательным потенциал протектора.

Основные загрязняющие примеси в сплаве — железо, медь, никель, кремний, увеличивающие саморастворение протекторов и снижающие срок их службы.

Эффективность работы протектора увеличивается при установке его в специальные смеси — заполнители, называемые активаторами.

Активаторы служат для снижения самокоррозии протектора, уменьшения анодной поляризуемости, уменьшения сопротивления растеканию тока с протектора, предотвращения образования плотных оксидных пленок на поверхности протектора. Применение активатора повышает КПД протектора, т. е. срок его службы, и стабилизирует ток в цепи протекторной установки.

Основными компонентами активаторов к магниевым сплавам являются глина, гипс, эпсомит и мирабилит. Для приготовления активатора используют смеси сухих солей и глины.

Активатор доводят до вязкой консистенции, добавляя воду перед установкой протектора. На один протектор используют 40-60 кг активатора.

Для предотвращения вымывания солей в процессе работы протекторной установки в активатор вводят глину и гипс. Стабильная работа протекторной установки обеспечивается при установке протекторов ниже глубины промерзания или высыхания грунта.

Комплектный протектор представляет собой электрод с соединительным проводником и порошкообразным активатором, находящимся в полиэтиленовом мешке. При транспортировке и хранении комплектный протектор находится в мешке из крафт-бумаги.

Магнийевый электрод типа ПМ представляет собой (рис. 14) удлинённый профиль Д-образного сечения, в который при отливке вставляют стальной сердечник. Вокруг сердечника в магниевом электроде имеется углубление в виде воронки. После соединения контактов воронка заполняют битумной мастикой с целью предотвращения контактной коррозии.



Рисунок 14 – Протектор магниевый

Потенциал протектор-грунт для этих сплавов равен $-1,6$ В по медно-сульфатному электроду сравнения (при разомкнутой цепи протекторной установки). При анодной плотности тока 10 мА/м^2 КПД протекторов находится в пределах $0,52-0,66$.

Изготовленные из сплава магния протяженные протекторы, отличающиеся малой массой на единицу поверхности, резко расширяют область применения протекторов, которая раньше ограничивалась удельным

сопротивлением грунта до 50 Ом * м. Протяженные протекторы типа ПМП 35 x 10, ПМП 20 x 10 представляют собой полосу, намотанную на барабан. Протяженные протекторы, сматываемые с барабана, можно укладывать в одну траншею вместе с трубопроводом или на некотором расстоянии от него.

Применяются также конструкции кольцевых протекторов, которые изготавливают из двух литых анодов-полуколец, соединенных болтами, либо сваркой стальной арматуры или отдельных сегментов (4, 6 и более). Каждый сегмент имеет контактный стержень, привариваемый к стальным кольцам-ободам, охватывающим трубопровод.

С помощью одного магниевого анода защищают до 8 км трубопровода с покрытием, без него - всего 30 м. Протекторная защита широко распространена, например, в США на производство протекторов ежегодно расходуется около 11,5 млн. кг алюминия (рис.15).



Рисунок 15 – Протектор алюминиевый

Технические требования к протекторной защите [27]

1. Система протекторной защиты включает установки протекторной защиты, состоящие из одиночного сосредоточенного или протяженного протекторов или их группы, соединительных проводов (кабелей), а также

контрольно-измерительных пунктов и, при необходимости, регулирующих резисторов, шунтов и/или поляризованных элементов.

2. Протекторы должны быть изготовлены из сплавов на основе алюминия, магния или цинка, обладающих стабильным электродным потенциалом на всем протяжении эксплуатации. При этом потенциал должен быть более отрицательным, чем потенциал защищаемого магистрального трубопровода.

3. Электродный потенциал материала протектора не должен облагораживаться (изменяться) во время эксплуатации более чем на:

50 мВ - для алюминия и сплавов на его основе;

100 мВ - для магния и сплавов на его основе;

30 мВ - для цинка и сплавов на его основе.

4. При отключении от магистрального трубопровода протектор не должен самопассивироваться (терять активность) и при повторном подключении должен в полном объеме восстанавливать прежнюю силу защитного протекторного тока.

5. Сосредоточенные протекторы следует применять в грунтах с удельным электрическим сопротивлением не более 50 Ом·м. Можно использовать искусственное снижение удельного электрического сопротивления грунта в местах установки протекторов при исключении вредного воздействия на окружающую среду и технико-экономическом обосновании.

6. Протяженные протекторы следует использовать в грунтах с удельным электрическим сопротивлением не более 500 Ом·м.

7. Групповые протекторные установки, единичные и протяженные протекторы должны быть подключены к защищаемому трубопроводу через контрольно-измерительные пункты.

Способы (схемы) защиты трубопроводов протекторами

В зависимости от расстояния между кожухом и катодной установкой, подключенной к трубопроводу, кожухи могут быть классифицированы на три группы.

К первой группе относятся кожухи, которые расположены на расстоянии до 0,5 км от точки дренажа катодной установки.

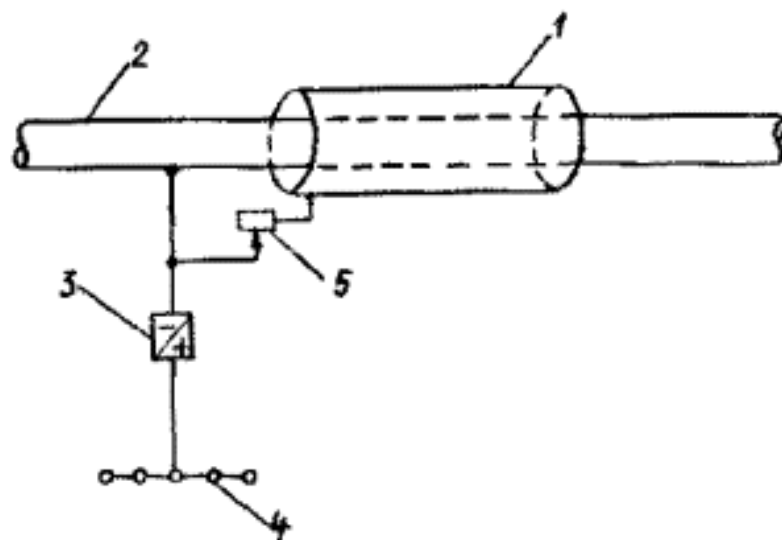
Ко второй группе относятся кожухи, расположенные на расстоянии от 0,5 до 3 км от точки дренажа катодной установки.

К третьей группе относятся кожухи, расстояние от которых до планируемой точки дренажа катодной установки составляет более 3 км.

Выбор принципиальных схем электрохимической защиты кожухов на магистральных трубопроводах необходимо осуществлять таким образом, чтобы исключить опасное и мешающее влияния средств электрохимической защиты на неэлектрифицированные и электрифицированные железные дороги, а также на кабельные и другие подземные металлические сооружения, расположенные вблизи дорог [9].

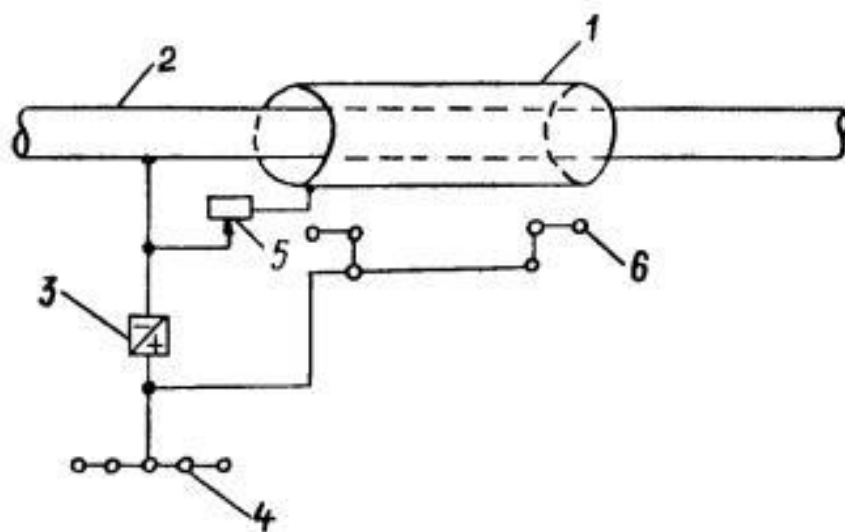
Для обеспечения надежной электрохимической защиты на кожухах первой группы следует располагать катодную станцию не далее 20 м от единичного трубопровода или крайнего трубопровода многониточной системы. Подключение к кожуху катодной установки следует осуществлять через регулируемое сопротивление (рис. 16).

В случае необходимости устанавливают дополнительные анодные заземлители на расстоянии от кожуха, составляющем не более одной пятой длины кожуха. При этом для катодной защиты кожухов, имеющих диаметры до 1220 мм, устанавливают анодные заземлители с одной стороны (рис. 17), а для кожухов диаметром более 1220 мм – устанавливают с обеих сторон (рис. 18).



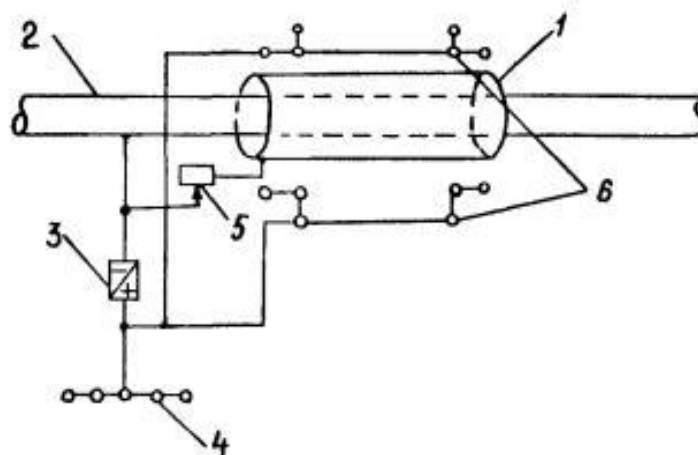
1 - кожух; 2 - трубопровод; 3 - катодная - станция; 4 - анодное заземление;
5 - регулируемое сопротивление.

Рисунок 16 – Схема катодной защиты кожуха при близком расположении катодной станции



1 - кожух; 2 - трубопровод; 3 - катодная станция; 4 - анодное заземление; 5 - регулируемое сопротивление; 6 - дополнительные анодные заземлители.

Рисунок 17 – Схема катодной защиты кожуха с использованием анодных заземлителей, расположенных с одной стороны кожуха



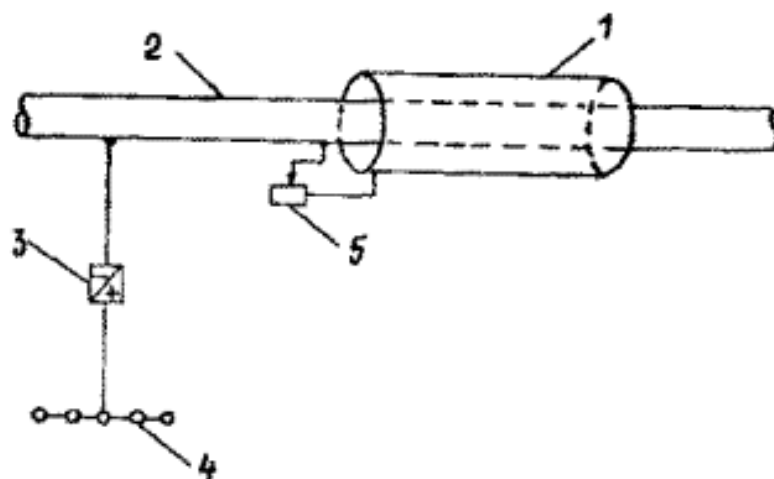
1 - кожух, 2 - трубопровод; 3 - катодная станция; 4 - анодное заземление;
5 - регулируемое сопротивление; 6 - дополнительные анодные заземлители.

Рисунок 18 – Схема катодной защиты с дополнительными анодными заземлителями, расположенными с обеих сторон кожуха

При обеспечении надежной электрохимической защиты катодную станцию на кожухах второй группы можно располагать на любом расстоянии от трубопровода, а подключение к трубопроводу кожуха следует осуществлять также через регулируемое сопротивление (рис. 19).

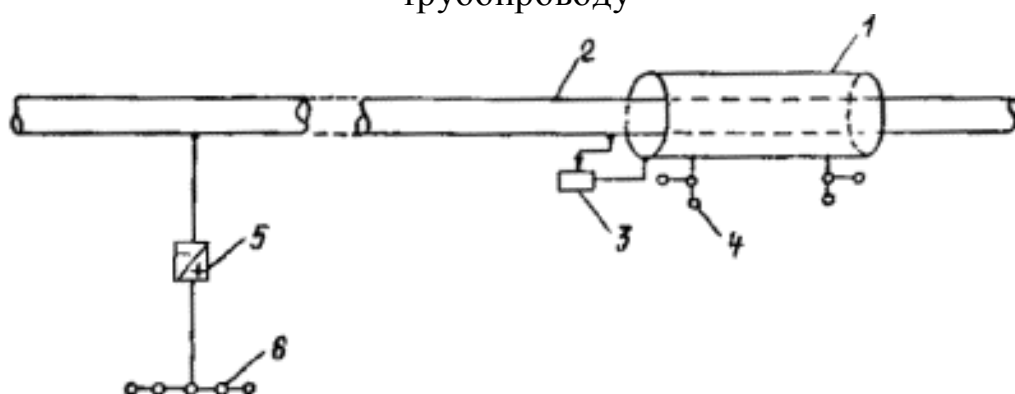
В к кожуху подключают протекторы случае необходимости, устанавливаемые от него на расстоянии, составляющем не более одной десятой длины кожуха. В этом случае для защиты кожухов с диаметром до 1220 мм протекторы устанавливают с одной стороны кожуха (рис. 20), а при диаметрах кожухов более 1220мм - с обеих сторон кожуха (рис. 21).

При обеспечении защитного потенциала на кожухах третьей группы катодную станцию можно располагать на любом расстоянии от трубопровода. В данном случае кожух подключают к трубопроводу через регулируемое сопротивление и защиту кожуха усиливают с помощью протекторов, устанавливаемых от него на расстоянии, не превышающем одной десятой длины кожуха. Протекторы устанавливают с одной стороны кожуха при диаметре его до 720 мм (см. рис. 20). При диаметре кожуха 820 мм и более протекторы устанавливает с обеих сторон (см. рис. 21).



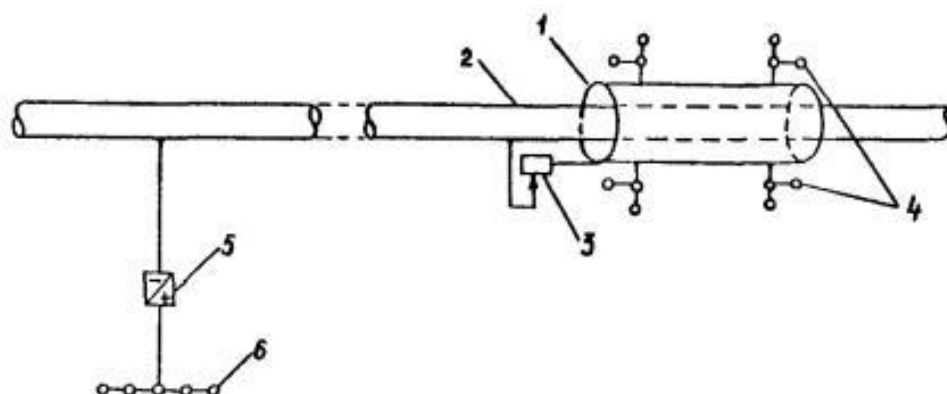
1 - кожух; 2 - трубопровод; 3 - катодная станция; 4 - анодное заземление;
5 - регулируемое сопротивление.

Рисунок 19 – Схема катодной защиты кожуха при подключении его к трубопроводу



1 - кожух; 2 - трубопровод; 3 - регулируемое сопротивление; 4 - протекторы;
5 - катодная станция; 6 - анодное заземление.

Рисунок 20– Схема защиты кожуха с помощью протекторов, устанавливаемых с одной стороны кожуха



1 - кожух; 2 - трубопровод; 3 - регулируемое сопротивление; 4 - протекторы;
5 - катодная станция; 6 - анодное заземление.

Рисунок 21 – Схема защиты кожуха с помощью протекторов, устанавливаемых с двух сторон кожуха

На кожухах протяженностью более 40 м дополнительные анодные заземлители или протекторы следует устанавливать с обеих сторон кожуха.

Общее количество анодных заземлителей или протекторов при любых условиях должно быть не менее двух - по одному на каждом конце кожуха.

1.2.5. Достоинства и недостатки протекторной защиты

Условия применения протекторной защиты зависят от внешних факторов, степени оголенности металла защищаемого сооружения, наличия блуждающих токов и параметров, определяющих свойства грунтов [26,27].

Протекторную защиту в основном применяют для защиты от почвенной коррозии.

Рекомендуется также ее применять в комплексе с катодной защитой на трубопроводах для расширения зоны катодной поляризации.

Протекторная защита эффективна при удельном сопротивлении грунта с активатором не более 50 Ом * м.

Расстояние от протектора до защищаемого изделия составляет от 3 до 7 м, так как более близкое размещение протекторов может привести к повреждению изоляционного покрытия солями растворяющегося протектора.

Иногда применяют поляризованные протекторы, которые представляют собой обычные протекторы, подключаемые к защищаемому сооружению с помощью полупроводниковых диодов, пропускающих ток только в направлении от сооружения к протектору.

Особенно показан данный метод:

– на опасных участках трубопроводов, где невыгодно или невозможно построить станции катодной защиты – СКЗ (подземные переходы, поймы рек, экологически неустойчивые зоны, территории промпредприятий), а также в зонах воздействия блуждающих токов;

- на трубопроводах в комплексе с СКЗ для обеспечения защитного потенциала на участке между СКЗ;

- на магистральных трубопроводах вдали от источников электроэнергии;

- на резервуарах для агрессивных жидкостей – нефти и нефтепродуктов, подтоварной воды и т.п. (при химическом распаде нефтяных эмульсий выделяется минерализованная вода), вызывающих интенсивную коррозию днища и нижних поясов;

- на стальных конструкциях, смонтированных в грунтах высокой коррозионной активности по ГОСТ 9.602-2005, ГОСТ Р 51164-98 (защитного покрытия при этом недостаточно);

- на морских сооружениях, судах, танкерах и т.д.

Чтобы добиться эффективной защиты, протекторы должны обеспечивать:

- максимальное количество электрической энергии, соответствующей единице массы протектора;

- минимальную потерю мощности в результате коррозии самого протектора;

- максимальную первоначальную электродвижущую силу в системе протектор – сооружение;

- минимальное омическое сопротивление системы протектор – сооружение;

- максимальный срок службы протектора;

- минимальную анодную поляризацию.

Преимущества протекторной защиты трубопроводов и резервуаров: простота монтажа, эффективность, рентабельность, независимость от источника тока, возможность локальной установки. В итоге полезная металлоконструкция служит долго, а коррозия разрушает недорогой возобновляемый протектор.

К недостаткам их относятся малая протяженность защищаемого участка и сравнительно большой расход цветных металлов, особенно в грунтах с повышенным удельным сопротивлением.

Во всех случаях при использовании катодной или протекторной защиты трубопровода требуется присоединение к поверхности трубы катодного вывода ЭХЗ. Чаще всего для соединения используется термитная сварка или сварка покрытым электродом.

1.4. Способы присоединения выводов электрохимической защиты

Сварку (приварку, пайку) выводов электрохимической защиты к магистральным трубопроводам разрешается выполнять [29, 30]:

- ручной дуговой сваркой электродами, как правило, с основным покрытием;
- сваркой с использованием термитных смесей;
- контактной сваркой (конденсаторной);
- пайкой;
- механическим способом (сверление, зачеканка и пр.).

Требования к выводам электрохимической защиты (материал изготовления – латунные, медные, стальные и др.; электросопротивление материала, длина, сечение и пр.) регламентируются требованиями нормативных документов по электрохимической защите магистральных магистральный трубопроводов [29,30].

Подготовка магистрального трубопровода к приварке, и непосредственно выполнение приварки выводов электрохимической защиты должны выполняться в соответствии с требованиями типовых операционных технологических карт подготовки, сборки, ручной дуговой сварки покрытыми электродами, термитной сварки (приварки) выводов электрохимической защиты. Эти техкарты должны быть разработаны с учетом имеющихся аттестованных технологий сварки и должны пройти утверждение в организации, выполняющей сварку (приварку) выводов электрохимической защиты [29, 30].

Место приварки выводов электрохимической защиты к поверхности магистрального трубопровода рекомендуется располагать в верхней четверти периметра с отклонением положения от зенита $\pm 10^\circ$, при этом, при ручной дуговой сварке покрытыми электродами промежуточные накладки должны располагаться на кольцевом сварном шве. При этом расстояние от пересечения заводского продольного и кольцевого швов должно быть не

менее 100 мм, при термитной сварке – в любом месте на поверхности магистрального трубопровода со смещением от заводского продольного, кольцевого сварных швов и их пересечения на расстояние не менее 100 мм.

Поверхность магистрального трубопровода в том месте, где будет выполняться сварка (приварки) выводов электрохимической защиты, а также прилегающая зона на расстоянии ≥ 50 мм в каждую сторону необходимо зачистить механическим способом до чистого металла. Допускается очистка поверхности наждачной бумагой, ручной проволочной щеткой, а также шлифовальной машинкой с установленными дисковыми проволочными щетками или напильником

Вывод электрохимической защиты необходимо зачистить любым механическим способом до чистого металлического блеска на длину свободного конца не менее 50 мм.

Применяемые способы имеют свои особенности, которые представлены в таблице 1

Таблица 1 - Сравнительный анализ способов (методов) присоединения выводов электрохимической защиты

Метод	Время	Прочность	Переходное сопротивление	Металлургия	Окружающая среда	Безопасность оператора	Погодные условия	Контроль качества	Гибкость	Экономичность	ВСЕГО БАЛЛОВ
Дуговая штифтовая пайка	5	4	5	3	4	4	5	5	3	3	41
Электросварка	4	5	5	1	2	2	3	5	5	5	37
Пайка пропановой горелкой	1	5	5	4	5	3	3	5	5	1	36
Сверление	2	5	2	5	3	4	5	1	1	2	30
Термитная сварка	3	4	5	2	1	1	1	5	3	4	29

* Оценка методов дана специалистами SAFETRACK по пятибалльной шкале

С учетом данных таблицы 1 можно сделать вывод, что применяемые способы либо не позволяют обеспечить требуемого качества, либо требуют тщательной подготовки процесса сварки, либо являются экономически нецелесообразными. В связи с этим в диссертационной работе необходимо будет решить следующие задачи [3]:

1. Провести критический анализ способов сварки и пайки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов.
2. Провести изучение структуры околошовной зоны при различных способах сварки и пайки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов.
3. Провести изучение механических свойств соединения и околошовной зоны при различных способах сварки и пайки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов.
4. На основе полученных результатов разработать технологические рекомендации по присоединению выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов.

2. Анализ способов сварки и пайки выводов электрохимической защиты магистральных трубопроводов

2.1. Ручная дуговая сварка выводов ЭХЗ

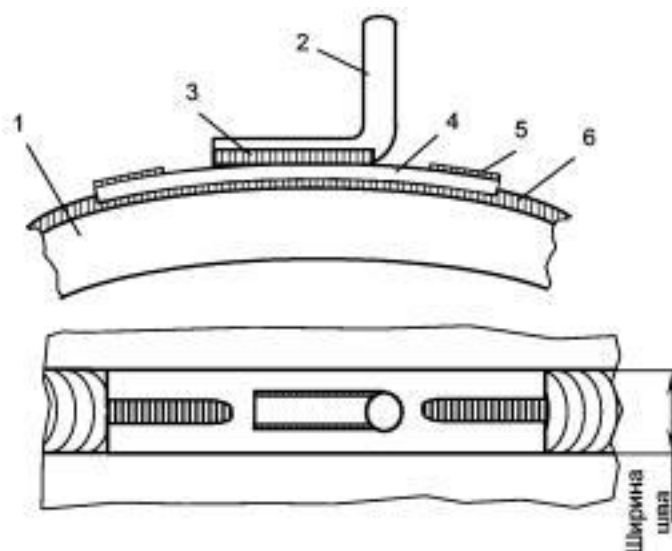
Для ручной дуговой приварки выводов электрохимической защиты следует применять сварочные электроды преимущественно с основным видом покрытия, рекомендованные для сварки облицовочных и заполняющих слоев сварных швов магистральных трубопроводов и нефтепроводов [30].

Ручная дуговая сварка (приварка) выводов электрохимической защиты (ЭХЗ) выполняется в последовательности, которая приведена на рисунке 22:

- до начала выполнения работ необходимо подготовить переходную (вспомогательную) пластину из низкоуглеродистой стали (марок ВСт.3сп, 10, 20) с толщиной от 3,0 до 4,0 мм в имеющую поперечном сечении форму усиления сварного кольцевого шва трубопровода, в продольном – форму соответствующую диаметру магистрального трубопровода, с характеристиками, показанными на рисунке 23;

- произвести очистку наружной и внутренней поверхностей переходной пластины до металлического блеска (механическим способом);

- удалить усиление выполненного сварного шва механическим способом напильником, шлифмашинкой до образования на поверхности облицовочного шва гладкой поверхности, имеющей ширину не менее ширины пазов в пластине и длиной, равной общей длине пластины;



- 1 - стенка магистрального трубопровода, 2 - стальной вывод (провод) электрохимической защиты,
 3 – соединительные угловые швы; 4 – переходная (вспомогательная) пластина; 5 - наплавочные швы;
 6 - облицовочный слой кольцевого сварного шва

Рисунок 22 - Схема приварки вывода электрохимической защиты к кольцевому шву магистрального трубопровода через переходную пластину

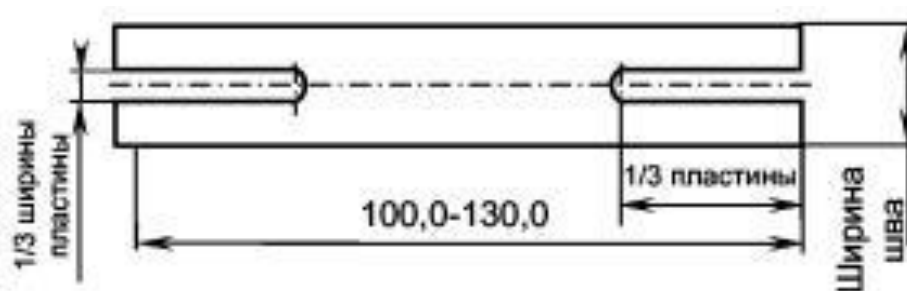


Рисунок 23 - Параметры переходной (вспомогательной) пластины для приварки выводов электрохимической защиты к кольцевым швам магистральный трубопроводов

- закрепить переходную пластину на зачищенную поверхность по оси монтажного кольцевого сварного шва;
- осуществить в центре пазов переходной пластины дуговые прихватки к кольцевому сварному шву трубопровода по одной с каждой стороны пластины;
- провести сварку пластины с кольцевым сварным швом трубопровода электродами с основным видом покрытия диаметром от 2,6 до 3,2 мм с

обеспечением полного заполнения пазов и гарантированным перекрытием металла пластины в каждую сторону не менее 1,5 мм;

- зафиксировать вывод электрохимической защиты по оси центральной части промежуточной пластины;

- осуществить сварку вывода электрохимической защиты к центральной части промежуточной пластины электродами с основным видом покрытия диаметром от 2,6 до 3,2 мм угловыми швами с формированием катета не менее диаметра вывода электрохимической защиты;

- провести зачистку наплавочных швов промежуточной пластины и угловых сварных швов сварки (приварки) вывода электрохимической защиты металлической щеткой от брызг и шлака;

- провести по внешнему виду визуальномизмерительный контроль сварных швов. Внешний вид и размеры сварных швов приварки переходной пластины и стального вывода электрохимической защиты должны соответствовать требованиям, предъявляемым в нормативной документации к сварным швам магистральный трубопроводов;

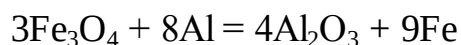
- проверить прочность наплавки путем многократного изгиба приваренного вывода электрохимической защиты [30].

Достоинством данного способа является высокая прочность и надежность соединения, гибкость и экономичность процесса, основными недостатками – высокое переходное сопротивление в месте контакта и нежелательные металлургические процессы, приводящие к изменению структуры и свойств околошовной зоны сварного соединения.

2.2. Термитная сварка выводов ЭХЗ

Термитами называются порошкообразные или зернистые смеси, состоящие из металла с большой теплотой образования окисла (алюминий, магний, медь и др.) и окисла металла с меньшей теплотой образования (например, окислы железа, меди и др.). В термитной сварке, наиболее известен алюминиевый термит из металлического алюминия и железной

окалины Fe_3O_4 . Если эту смесь поджечь, она сгорает, давая металлическое железо и окись алюминия. Реакция термитной сварки, сопровождающаяся повышением температуры более чем до 3000°C , идет по уравнению



Сгорая, килограмм термитной смеси дает около 750 ккал тепла. Термиты применяются в военной технике — для зажигания и прожигания, в металлургии - для получения металлов из окислов (алюминотермия) и для термитной сварки металлов. Изделие, подлежащее термитной сварке, заформовывается; заформованная часть нагревается до начала красного каления, причем одновременно прокаливается и форма. Порцию термита, по весу соответствующую объему сварки, насыпают в специальный огнеупорный тигель и зажигают; термит быстро сгорает, и тигель заполняется сильно перегретым расплавом. После небольшой отстойки расплав разделяется на два слоя, соответственно удельным весам компонентов: нижний слой — жидкое железо, верхний — жидкий шлак, состоящий преимущественно из окиси алюминия Al_2O_3 . Отстоявшимся расплавом заливают заформованное изделие, причем можно оплавлять кромки изделий, сплавлять их с металлом из тигля (сварка плавлением) или же только разогревать кромки до сварочного жара (не расплавляя металл) и производить термитную сварку путем сдавливания разогретых частей специальным стяжным прессом. В тигель, где сгорает термит, для улучшения состава и прочности наплавленного металла, можно добавлять легирующие присадки, например, ферромарганец. Термитная сварка в нашей стране имеет очень ограниченное применение. Ее используют для сварки стыков трамвайных и железнодорожных рельсовых путей, стыков стальных труб, при ремонте стальных, чугунных деталей и т.д. [15]

Для термитной приварки выводов электрохимической защиты на трубопроводах следует применять разрешенные к применению на опасных производственных объектах медные термитные смеси, паяльно-сварочные

стержни или термокарандаши (из прессованной термитной смеси на клеевой основе) в комплекте с графитовыми тигель-формами [29,30]:

а) герметично упакованные в одноразовые тигель-формы медные термитные смеси;

б) медные термитные смеси (порошки) в комплекте с многоразовыми тигель-формами из графита, состоящих из двух полутиглей;

в) медные термитные смеси, на клеевой основе спрессованные в карандаши (термокарандаши) с многоразовыми тигель-формами, изготовленными из графита;

г), герметично упакованные в бумажную цилиндрическую оболочку медные термитные смеси (паяльно-сварочные стержни) с многоразовыми оправками из графита.

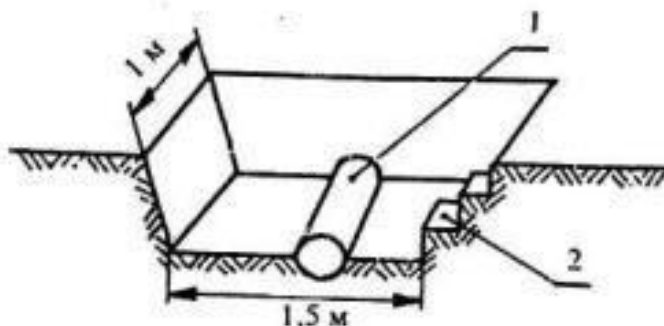
Термитные смеси (и другие сварочные материалы), в составе которых присутствует окись меди, обычно изготавливаются исключительно для применения на стальных магистральном трубопроводах. Высокая ответственность формируемых швов определила необходимость повышения объемов выделяемой тепловой энергии. По этой причине смесь термитная медная включает ферросилиций вместо ферромарганца, который обладает не столь высокой температурой плавления. В готовом виде состав такой смеси включает:

- оксид меди – 70%;
- медный порошок – 12%;
- алюминий – 10%;
- ферросилиций (или ферромарганец) – 8%.

Такое сочетание элементов повышает качество и надежность сварочных работ благодаря увеличению выделяемых тепловых объемов энергии в процессе расплава [24].

Для осуществления приварки вывода электрохимической защиты на трассе трубопровода в месте присоединения вывода откапывается приямок размером 1х1,5 м в основании и глубиной до половины диаметра трубы

магистрального трубопровода с уступками для обеспечения выхода сварщика из приямка. Откосы приямка выполняются с учетом естественного откоса грунта (рисунок 24).



1 - трубопровод; 2 - уступки

Рисунок 24 - Приямок для приварки выводов электрохимической защиты

На верхней части трубы (рис. 24) необходимо снять слой изоляции размером 100x150 мм со смещением от зенита $\pm 10^\circ$. Поверхность трубы должна быть тщательно очищена от остатков изоляции, пыли и грунта. Место приварки вывода ЭХЗ на трубе необходимо зачистить напильником до чистого металлического блеска и протереть ветошью, смоченной бензином или ацетоном.

Подготовка и приварка выводов электрохимической защиты с применением медных термитных смесей в комплекте с графитовыми тигель-формами выполняется в указанной ниже последовательности [29].

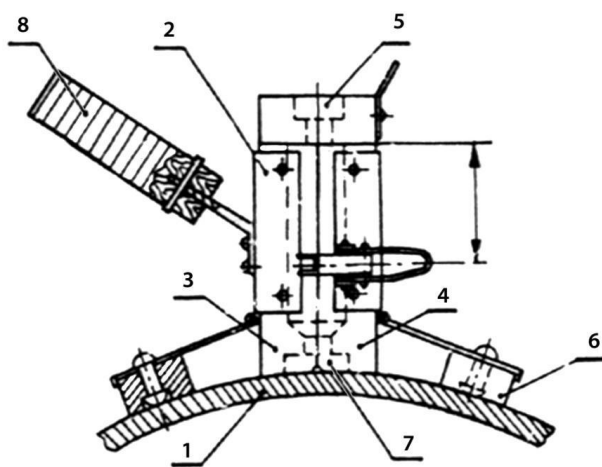
Подготовить медный или стальной вывод электрохимической защиты, удалив на торце кабеля изоляцию на расстоянии 120 мм. Провести осмотр многоразовых, разовых тигель-форм или оправок. Не допускается применять тигель-формы и оправки с трещинами, сколами опорного торца, неплотностями поверхностей замыкания полутиглей многоразовых тигель-форм.

Подготовка опорного торца тигель-формы или оправки для плотного прилегания рабочей поверхности к трубе должна производиться

заблаговременно притиранием на наждачной бумаге, уложенной на трубу (элемент трубы) того же диаметра.

Установка тигель-формы или оправки на место приварки выводов электрохимической защиты должна производиться на предварительно зачищенную механическим способом и обезжиренную бензином или ацетоном поверхность трубопровода. Канал для установки вывода электрохимической защиты должен располагаться по оси трубопровода в верхней четверти периметра трубопровода с максимальным отклонением от зенита $\pm 10^\circ$. (рис. 25).

Конец провода вывода электрохимической защиты или теплоотводящая металлическая трубка, надетая на конец провода вывода электрохимической защиты, должны быть введены в литниковую камеру тигель-формы или графитовой оправки.



1 – магистральный трубопровод; 2 – кожух с замком и рукояткой; 3,4 – полутигели; 5 – крышка с запальным отверстием; 6 – магнитные башмаки; 7 – литниковая камера; 8 – ручка.

Рисунок 25 - Установка тигель-формы на трубу

Вскрытие индивидуальной упаковки и контроль внешнего вида сварочных материалов для приварки выводов электрохимической защиты должны производиться непосредственно перед установкой и применением.

При применении для приварки выводов электрохимической защиты медной термитной смеси с многоразовой графитовой тигель-формой из двух полутиглей предварительно на дно камеры сгорания устанавливается стальная или медная мембрана толщиной $0,3 \pm 0,02$ мм. С целью исключения попадания термосмеси в полость тигель-формы мембрана должна устанавливаться ровно, без перекосов.

До вскрытия герметичной упаковки термитной смеси массой 1 кг необходимо произвести перемешивание упаковки путем встряхивания. После вскрытия упаковки термитная смесь высыпается в центральный канал многоразовой тигель-формы мерной емкостью (стаканом), входящей в комплект, соответствующей одной весовой порции (от 54 до 56 г), в два этапа с послойным уплотнением.

Паяльно-сварочные стержни или термокарандаши устанавливаются в центральный канал графитовой оправки или тигель-формы.

Поджиг термосмеси термоспичкой осуществляется путем быстрого опускания зажженной спички в отверстие тигель-формы.

Огнепроводный шнур для поджига термосмеси выводятся наружу через запальное отверстие крышки тигель-формы или через шлакоотводящий канал графитовой оправки.

Поджиг огнепроводного шнура замедленного горения производится источником открытого огня (спичкой, термоспичкой и др.) либо посредством передатчика и приемника устройства дистанционного поджига УТП-ДУ.

С целью исключения попадания брызг расплавленной меди рекомендуется защищать поверхность магистрального трубопровода инвентарными защитными экранами из несгораемого материала (металлические кольца, полукольца) или уложенным влажным песком в радиусе от 20 до 30 см от места приварки.

По окончании приварки выводов электрохимической защиты необходимо:

- дать остыть месту приварки в течение не менее 5 минут, снять тигель-форму или оправку легким пошатыванием;
- зачистить наплавку и место приварки вывода электрохимической защиты от шлака металлической щеткой с последующей зачисткой наждачной бумагой до металлического блеска;
- провести визуальный и измерительный контроль размеров наплавки: высота наплавки над выводом ЭХЗ должна быть $3,0 \div 7,0$ мм, диаметр – $25,0 \div 35,0$ мм, допускаются отдельные поры на поверхности наплавки диаметром до 1,0 мм;
- проверить прочность приварки вывода электрохимической защиты трех-четырехкратным изгибом рукой приваренного вывода в касательном к поверхности трубы направлении;
- очистить от шлака и брызг расплавленной меди многоразовую тигель-форму, графитовую оправку, не повреждая поверхностей, зачистить шлифшкуркой («нулевкой») на тканевой основе литниковую камеру для последующего применения, шлако- и газоотводящие каналы графитовой оправки зачищаются разверткой или сварочным электродом диаметром от 4,0 до 5,0 мм.

Сварные соединения выводов ЭХЗ признаются прошедшими испытания [29]:

- в результате проведения визуально-измерительного контроля в сварных соединениях переходной пластины и приваренного вывода электрохимической защиты, выполненных ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, и (или) наплавке, выполненной с использованием термитной сварки, отсутствуют недопустимые поверхностные дефекты и размеры сварных швов и наплавки ЭХЗ соответствуют требованиям нормативных документов, регламентирующих требования к качеству;
- если в результате проведения механических испытаний получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной термитной сваркой, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки должно быть не менее 50%.

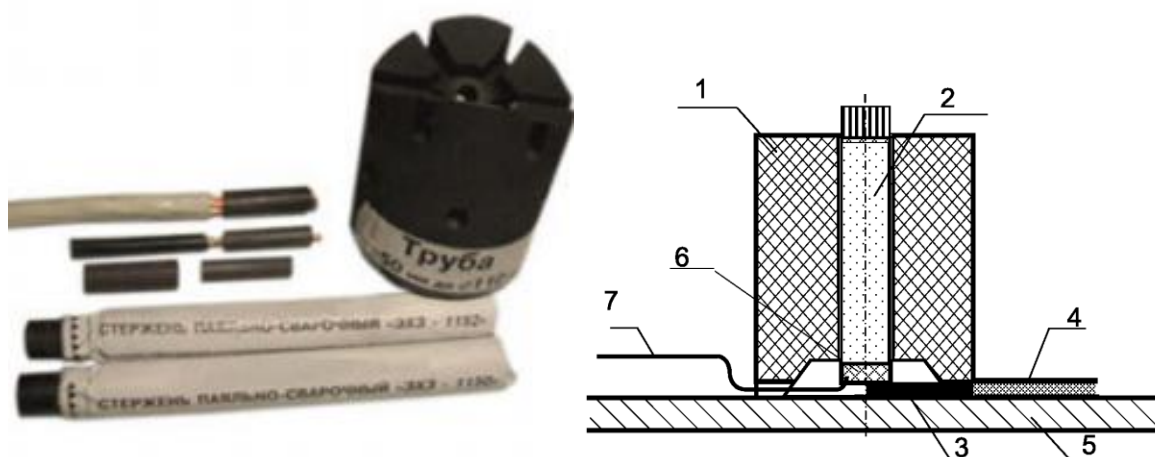
Основные дефекты сварных соединений, выполненных термитной сваркой, приведены в таблице 2

Таблица 2 Основные дефекты термитной приварки выводов электрохимической защиты и способы их устранения

№ пп	Дефекты	Причины дефектов	Способы устранения дефектов
1	Низкая прочность сварного соединения, вывод отрывается от трубы при отгибании или удалении шлака	Некачественная зачистка поверхности трубы и конца привариваемого вывода. В формирующую полость тигель-формы попала термитная смесь	Тщательно зачистить место приварки и конец вывода. Сварку повторить. Проверить плотность соединения графитовых вкладышей тигель-формы и прилегание мембраны
2	Форма термитного контакта неправильная, недостаточное количество наплавленного металла в тигель-форме образуется пробка из металла и шлака	Плохо перемешана термитная смесь (расслоение состава). Термитная смесь отсырела	Тщательно перемешать термитную смесь перед засыпкой в тигель-форму. Термитную смесь просушить
3	Наплавленный металл пористый	В тигель-форму попала влага. Влага на трубе или на привариваемом конце вывода	Просушить тигель-форму. Удалить влагу со свариваемых элементов

2.2.1. Сварка с использованием паяльно-сварочных стержней из медных термитных смесей в комплекте с многоразовыми графитовыми оправками

«ЭХЗ-1150» - это паяльно-сварочные стержни, которые предназначены для сварки (пайки) выводов электрохимической защиты к трубопроводам, которые находятся под эксплуатационным давлением с нормативным пределом прочности до 589 Мпа. Стержни электрохимической защиты широко применяются на объектах нефтяной и газовой промышленности России. Приварочный комплект составлен из самого стержня электрохимической защиты, теплоотводящей трубки и графитовой оправки, которой хватает минимально на 150-200 приварок. Для безопасной работы на трубопроводах под эксплуатационным давлением применяется устройство дистанционного поджига марки ЖЗ1-Р122. Использование стержней электрохимической защиты обуславливается удешевлением и упрощением процесса приварки, в сравнении с традиционным электродным способом в несколько раз.



1 - многоразовая графитовая оправка, 2 - паяльно-сварочный стержень, 3 - теплоотводящая трубка с выводом электрохимической защиты, 4 - провод вывода электрохимической защиты, 5 - стенка магистрального трубопровода, 6 - зажигательная головка стержня электрохимической защиты, 7 - огнепроводный шнур

Рисунок 26 - Сварка с использованием паяльно-сварочного стержня

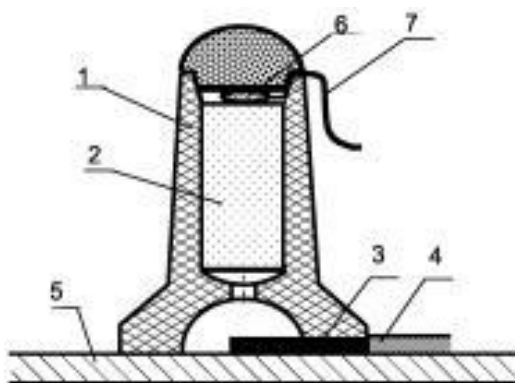
Таблица 3 - Технические характеристики паяльно-сварочных стержней.

Модель	Описание
Стержень ЭХЗ-1150А	для приварки выводов ЭХЗ, выводов анодных и катодных станций сечением 5-36 мм ² к телу газопровода системы ГРО с толщиной стенки от 3,5 до 10,0 мм, время горения 25-28 сек., пятно наплавки 5-6 мм высотой, 25-30 мм в диаметре
Стержень ЭХЗ-1150	для приварки выводов ЭХЗ, выводов анодных и катодных станций сечением 5-36 мм ² к телу трубопровода с толщиной стенки от 4,0 до 10,0 мм, время горения 10-12 сек., пятно наплавки 5-6 мм высотой, 25-30 мм в диаметре
Стержень ЭХЗ-1152	для приварки выводов ЭХЗ, выводов анодных и катодных станций сечением 5-36 мм ² к телу трубопровода с толщиной стенки от 10,1 до 40,0 мм, время горения 10-12 сек., пятно наплавки 5-6 мм высотой, 25-30 мм в диаметре

Основным недостатком паяльно-сварочных стержней является высокая чувствительность к окружающим условиям.

2.2.2. Сварка с использованием медных термитных смесей с одноразовой тигель-формой

В качестве сварочного материала применяется медный термит (термитная смесь), соответствующий ТУ 1793-002-12719185-2009. Вышеуказанный медный термит применяется для приварки медных и стальных выводов электрохимической защиты Ø3-12 мм к трубам диаметром до 1420 мм с толщиной стенки не менее 5 мм.



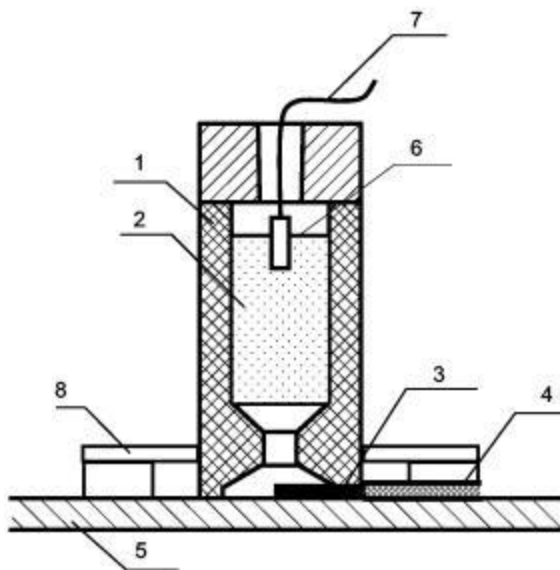
1 - разовая тигель-форма; 2 - термитная смесь; 3 - вывод электрохимической защиты; 4 - провод вывода ЭХЗ; 5 - стенка магистрального трубопровода; 6 - термоподжиг; 7- огнепроводный шнур

Рисунок 27 - Схема установки одноразовой тигель-формы

Медная термитная смесь герметично упакована в разовые тигель-формы. Основным недостатком является высокая стоимость данной оснастки.

2.2.3. Сварка с использованием медных термитных смесей с многоразовой тигель-формой

В качестве сварочного материала применяется медный термит (термитная смесь), соответствующий ТУ 1793-002-12719185-2009. Вышеуказанный медный термит применяется для приварки медных и стальных выводов электрохимической защиты Ø3-12 мм к трубам диаметром до 1420 мм с толщиной стенки не менее 5 мм.



1 - многоразовая тигель-форма, 2 - термитная смесь, 3 - вывод электрохимической защиты, 4 - провод вывода электрохимической защиты, 5 - стенка магистрального трубопровода, 6 - термоподжиг, 7 - огнепроводный шнур, 8 - магнитные башмаки

Рисунок 28 - Схема установки многоразовой тигель-формы

Основным недостатком медных термитных смесей является их высокая чувствительность к содержанию влаги и подготовке к сварке.

2.2.4. Сварка с использованием термокарандашей из прессованной медной термитной смеси в комплекте с многоразовыми графитовыми тигель-формами

Термитный карандаш – это порция медной термосмеси цилиндрической формы с воспламеняющим элементом и шнуром замедленного горения. Применяется при проведении термитной сварки металлических объектов.



Рисунок 29 - Термитный карандаш

Термокарандаш – это готовая порция термосмеси, которую не нужно перемешивать, прокаливать перед использованием, что делает его особенно удобным при работе в полевых условиях. Помимо этого, использование термитного карандаша исключает необходимость отмеривания точной порции термосмеси и использования термитных спичек для поджига.

Термитный карандаш закладывается непосредственно в стандартную многоразовую тигель-форму. Запальный шнур заряда выводится наружу через верхнее запальное отверстие формы. Весь процесс занимает считанные секунды.

Используется совместно с многоразовой тигель-формой (ТУ1539-026-12719185-2010) и предназначен для приварки, стальных либо медных

катодных и дренажных выводов электрохимической защиты диаметром 3-8 мм к стальным магистральным трубопроводам, выполненным из труб с толщиной стенки не менее 5 мм и рекомендуемым диаметром не менее 325 мм в процессе их строительства, ремонта или обслуживания, даже находящимся под эксплуатационным давлением [24].

2.3. Пайка выводов ЭХЗ

2.3.1. Штифтовая пайка выводов ЭХЗ

Дуговая штифтовая пайка или PINBRAZING (анг.) – это специальный технология пайки для создания прочного, коррозионостойкого соединения с низким электрическим сопротивлением между стальной поверхностью и медным кабелем при помощи серебросодержащего припоя. Это технология альтернативная термитной сварке.



Рисунок 30 - Соединения выводов электрохимической защиты, выполненные штифтовой пайкой.

Процесс дуговой штифтовой пайки идеально подходит для различных применений, в том числе для стыкового соединения между трубами, соединительными, измерительными и испытательными кабелями, а также для установки протекторных анодов, контрольно-измерительных колонок и т.д. Дуговая штифтовая пайка обеспечивает безопасное и надежное

соединение посредством автоматизированного процесса, занимающего всего 1,5–2 секунды. Дуговую штифтовую пайку можно легко использовать как в полевых условиях, так и в цеху. Имеется модификация оборудования, которая позволяет использовать сварочный генератор в качестве источника питания в ситуации когда требуется создание большого числа соединений в одном месте, например на заводе для нанесения покрытий на трубы, на баржах-трубоукладчиках и т.д.

Пайка осуществляется в следующей последовательности (рис. 31):

1. Зачистить место для сварки до блеска.
2. Зарядить в пистолет припой и изолятор.
3. Выполните сварку.
4. Проверьте качество соединения.

Наконечник кабеля устанавливается на стальную основу, прижимается пистолетом (с вставленным припоем и керамическим изолятором) к поверхности. При нажатии на спуск пистолета электрический заряд накопленный в аккумуляторе через разрядное устройство передается на пистолет и далее на припой. Точно рассчитанное количество электрической энергии расплавляет флюс с припоем, посредством дугового разряда, и уже через 1-2 секунды создается прочное паянное соединение между рабочей поверхностью и кабельным наконечником [7].

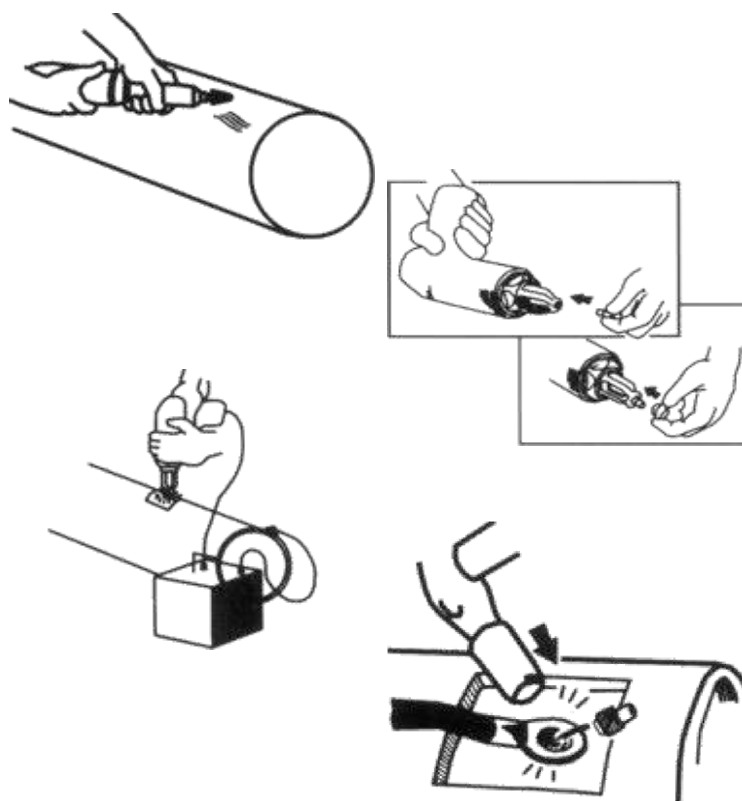


Рисунок 31 - Последовательность пайки вывода электрохимической защиты

Технология дуговой штифтовой пайки предназначена для установки выводов электрохимической защиты с сечением кабеля от 10 до 70 мм² на промышленных и магистральных трубопроводах, изготовленных из трубных сталей класса прочности до К65 (640 МПа) включительно номинальным диаметром от DN 80 до DN 1400 с толщиной стенки от 4,0 до 42,0 мм включительно.

Отличительной чертой способа являются минимальные тепловложения в основной металл (рис. 32).



Рисунок 32- Микроструктура паяного соединения электрохимической защиты

Недостатком данного способа соединения является необходимость приобретения специализированного оборудования для пайки (рис. 33).



- 40-60 соединений без перезарядки
- Литий-ионный аккумулятор
- Перезарядка за 2 часа
- Контроль подаваемой энергии
- Автоматический пистолет
- Встроенный подогреватель для аккумулятора
- Шлифовальное устройство
- Инструментальный кейс
- Магнитное устройство заземления
- Безопасное напряжение - 36В
- Вес всего 9,8 кг

Рисунок 33 - Оборудование для штифтовой пайки.

2.3.2. Дуговая пайка выводов ЭХЗ.

Дуговая пайка в инертных газах - процесс получения соединения, сравнимый со сваркой металла в среде защитного газа, однако с более низким вложением тепла, что как правило не расплавляет основной металл [4,5,8]. Как защитный газ рекомендуется аргон, но возможно использование газовой смеси аргона с CO_2 . При процессе дуговой пайки в инертных газах используется управляемый переход присадочного металла в шов, т.е. создается импульсная дуга. Стабильность процесса осуществляется за счет короткой сварочной дуги, т.е. к источникам питания предъявляются высокие требования по характеристикам регулировки. В среде защитного газа посредством надлежащего выбора параметров основного и импульсного токов достигается управляемый, без короткого замыкания переход присадочного металла в паяный шов [17,18]. Тем самым достигается сохранение металла защитного покрытия и минимальное разбрызгивание

металла присадочной проволоки. Скорость дуговой пайки в инертных газах идентична скорости сварки в CO_2 до 100 им/мин [18]. В этом еще одно преимущество процесса дуговой пайки в инертных газах.

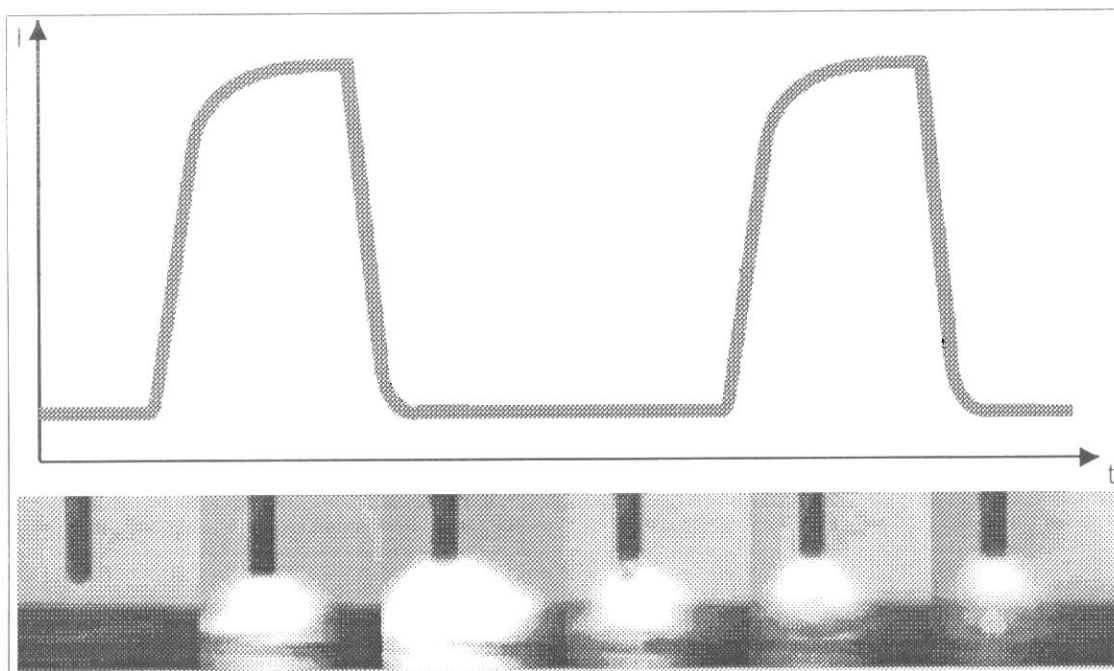


Рисунок 34 - Форма импульсов и перенос металла в шов при дуговой пайке

Основными мировыми производителями оборудования и материалов для MIG пайки являются фирмы LINCOLN ELECTRIC (США), MIGATRONIC (Дания) и FRONIUS (Австрия).

Уменьшить тепловложение, повысить коррозионную стойкость соединяемых металлов, снизить разбрызгивание электродного металла, набрызгивание расплавленного металла на поверхности трубопроводов, можно при применении дуговой пайки в инертных газах [19].

При процессе дуговой пайки в инертных газах используются присадочные материалы с температурой плавления от 950°C до 1080°C близкой к температуре испарения цинка 906°C .

На сегодняшний день технология дуговой пайки чаще всего применяется при изготовлении деталей с покрытием, где требуется сохранить его целостность. Основными очагами коррозии для сталей с антикоррозионными покрытиями являются сварной шов и зона термического

влияния. Это объясняется нарушением целостности антикоррозионного покрытия (сварной шов) и толщины (зона термического влияния). Так же, одним из актуальных вопросов остается защита поверхности лицевых деталей кузова автомобиля от налипания брызг расплавленного металла при сварке плавлением. Капли расплавленного металла остаются на поверхности деталей, в том числе лицевых, в последствии создают очаги точечной коррозии, тем самым снижают потребительские свойства автомобиля в целом. Кроме этого, при подготовке кузовов перед окраской требуется механическая обработка поверхности от брызг металла.

Дуговая пайка позволяет существенно повысить коррозионную стойкость за счёт меньшего тепловложения и, как следствие, уменьшения выгораний защитных покрытий.

Применение дуговой пайки для присоединения выводов электрохимической защиты на сегодняшний день не рассмотрено в литературе, поэтому представляет интерес провести ряд исследований, направленных на сравнение традиционных технологий и технологии дуговой пайки, которую можно считать наиболее оптимальным вариантом.

3. Методика исследования структуры и свойств сварных и паяных соединений выводов ЭХЗ.

3.1. Исследование процессов сварки и пайки выводов ЭХЗ.

Для проведения сравнительных исследований были выполнены соединения выводов электрохимической защиты с трубой следующими способами и материалами (рис. 35):

Вариант 1: дуговая пайка в среде аргона припоем на основе меди (бронза Dt 2.1367).

Вариант 2: дуговая пайка в среде аргона припоем на основе меди (сплав CuSi3).



Рисунок 35 - Внешний вид образцов (вариант 1 и 2)

Вариант 3: термитная сварка с использованием медных термитных смесей с одноразовой тигель-формой.

Вариант 4: термитная сварка с использованием медных термитных смесей с многоразовой тигель-формой.



Рисунок 36 - Внешний вид образцов (вариант 3 и 4)

Вариант 5: термитная сварка с использованием термокарандашей из прессованной медной термитной смеси в комплекте с многоразовыми графитовыми тигель-формами.

Вариант 6: термитная сварка с использованием паяльно-сварочных стержней из медных термитных смесей в комплекте с многоразовыми графитовыми оправками.



Рисунок 37- Внешний вид образцов (вариант 5 и 6)

Для каждого варианта выполнялось по три образца. Испытания проводились для каждого образца в отдельности. Далее представлены усредненные значения полученных результатов.

В качестве источника питания для проведения экспериментов по дуговой пайке был применен полуавтомат «MIGATRONIC BDH PS – 550» (Рисунок 38, Таблица 4)



Рисунок 38 – Сварочный полуавтомат «MIGATRONIC BDH PS – 550»

Таблица 4 - Технические характеристики полуавтомата «MIGATRONIC BDH PS – 550»

Напряжение питания	380В, 50Гц
Максимальная потребляемая мощность, КВт	12,5
Диапазон регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/мин	1,5..14 ±10%
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8...1,4
Максимальный сварочный ток при ПВ=45%, А	400
Диапазон регулирования сварочного тока, А	5...550
Максимальный вес комплектованного полуавтомата (без проволоки), кг	160
Габаритные размеры, мм (не более)	500x950x1600

Исследования процессов термитной сварки и дуговой пайки проводили на образцах из отрезков труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 10 мм. Марка стали для изготовления образцов – сталь 20 по ГОСТ 1050 - 88 (табл. 5, 6): сталь конструкционная углеродистая качественная [1].

Таблица 5 - Химический состав стали 20 в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.17 - 0.24	0.17 - 0.37	0.35 - 0.65	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.3	до 0.08

Таблица 6 - Механические свойства при T=20°C материала сталь 20.

Твердость 20 после отжига, ГОСТ 1050-88	HB 10 ⁻¹ = 163 МПа
Твердость 20 калиброванного нагартованного, ГОСТ 1050-88	HB 10 ⁻¹ = 207 МПа
Твердость 20, Лист термообработ. ГОСТ 4041-71	HB 10 ⁻¹ = 127 МПа
Твердость 20, Трубы горячедеформир. ГОСТ 550-75	HB 10 ⁻¹ = 156 МПа
Твердость 20, Трубы ГОСТ 8731-87	HB 10 ⁻¹ = 156 МПа
Твердость 20, Лист толстый отожжен. ГОСТ 1577-93	HB 10 ⁻¹ = 156 МПа

Дуговую пайку проводили с применением присадочной проволоки (пропоя) на основе меди и медных сплавов.

Пайка с электродной проволокой CuSi3 (Таблица 7), диаметром 1 мм, осуществлялась в среде аргона на постоянном токе обратной полярности: напряжение изменялось в пределах 20...27 В, скорость сварки в пределах 0,20...0,30 м/мин, скорость подачи проволоки оставалась постоянной и составляла 3,00 м/мин.

Таблица 7 - Химический состав проволоки CuSi3

Cu, %	Mn, %	Mg, %	Si, %	Sn, %
≥ 95	≤ 1,0	4,5-5,5	≤ 3,0	≤ 0,2

Дуговую пайку электродной проволокой на основе марганцовистой бронзы Dt 2.1367 выполняли на постоянном токе обратной полярности при напряжении 18...21В, а скорость подачи проволоки составляла 3,7...4,2

Таблица 8 - Химический состав проволоки Dt 2.1367

Cu, %	Al, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %
основа	7,5	13	2,5	2,2

Таблица 9 - Механические свойства присадочного материала.

Предел текучести	R _p	> 400	N/мм ²
Предел прочности	R _m :	> 650	N/мм ²
Относительное удл.	A ₅ :	> 10	%
Твердость	HB:	290	Brinell

Для исследования структуры сварных и паяных соединений и особенностей взаимодействия расплавленного присадочного металла шва (припоя) и основного металла трубы вырезали образцы, которые подвергались шлифованию и травлению.

3.2. Определение механических свойств сварных соединений

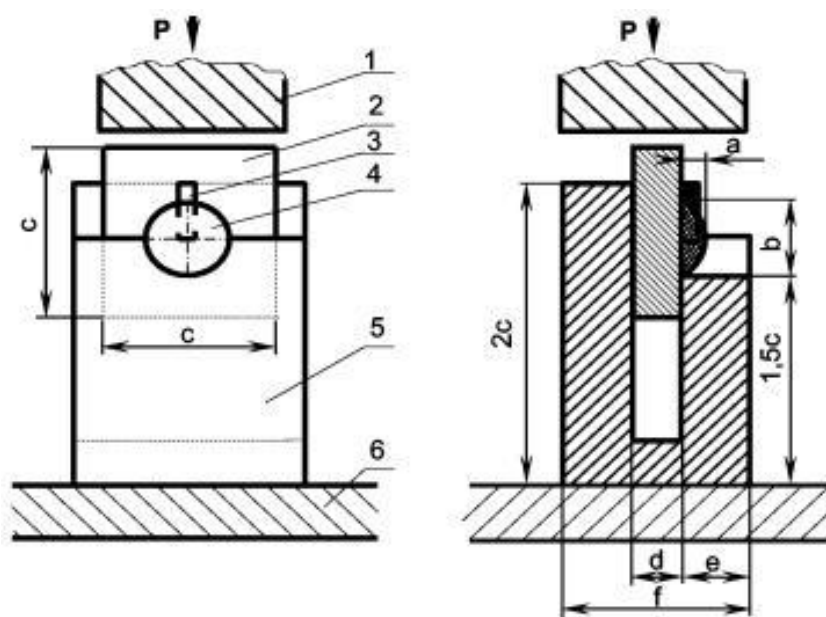
Механические свойства сварных и паяных соединений определялись испытаниями на прочность при сдвиге и измерением твердости основного металла и зоны термического влияния [30].

Испытания на сдвиг проводились на разрывной машине WAW-1000 (Рис. 39).



Рисунок 39 - Универсальная испытательная машина WAW-1000

Испытания на прочность при сдвиге наплавки вывода электрохимической защиты, выполненной термитной сваркой и дуговой пайкой, выполнялись по схеме испытаний, приведенной на рисунке 40 [30].



1 - подвижная часть разрывной машины; 2 - плоский образец с наплавкой; 3 - вывод электрохимической защиты; 4 - наплавка; 5 - приспособление (оправка) для испытания на прочность при сдвиге; 6 - неподвижная часть разрывной машины; а - высота наплавки; b - диаметр наплавки; c - размеры плоского образца (не менее 3-х диаметров наплавки), d - толщина плоского образца (ширина паза оправки); e - толщина стенки оправки (не менее 2-х толщин плоского образца); f - ширина оправки
Рисунок 40 - Схема испытаний на прочность при сдвиге наплавки вывода ЭХЗ, выполненной термитной сваркой и дуговой пайкой

Значение прочности при сдвиге, а также отношение площади сплавления к площади наплавки сравнивались с требуемыми по нормативной документации.

Твердость металла сварных и паяных соединений определялась с помощью универсального твердомера HBRV – 187.5 (рис. 41) методом измерения по Бринеллю. Измерения проводили в трех слоях соединения, проходящих через основной металл и зону термического влияния (рис. 42)



Рисунок 41 – Универсальный твердомер HBRV – 187.5

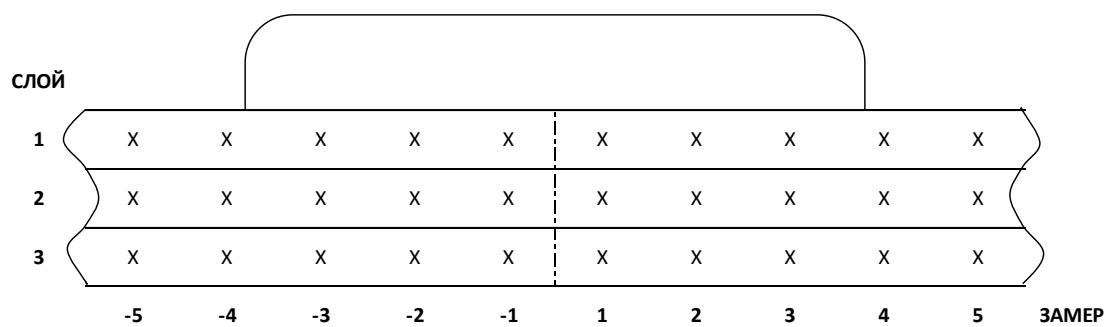


Рисунок 42 – Схема измерения твердости

4. Результаты исследований

В процессе исследований был поведён анализ микроструктуры заваренных образцов, а также замеры твердости металла трубы в околошовной зоне, прочности наплавки и характера взаимодействия с основным металлом.

4.1. Результаты исследований процесса дуговой пайки в среде аргона припоем на основе меди (бронза Dt 2.1367)

Анализируя макроструктуру образца №1 можно увидеть, что соединение не имеет заметного проплавления основного металла трубы. Этот факт позволяет утверждать о минимальном тепловом воздействии при данном способе присоединения вывода ЭХЗ (рис. 43).



Рисунок 43 - Макроструктура дуговой наплавки (пайки) среде аргона припоем на основе меди (бронза Dt 2.1367), образец №1, x2,5

Замеры твёрдости металла в околошовной зоне показали результаты практически идентичные твёрдости металла трубы вне зоны присоединения вывода ЭХЗ (табл. 10), что говорит о минимальном изменении свойств металла.

Таблица 10 – Результаты замеров твердости образца №1, НВ

слой	замер									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
1	146	131	134	127	140	151	148	141	131	163
2	140	134	144	114	116	125	127	125	117	127
3	131	126	139	138	139	149	140	136	131	140

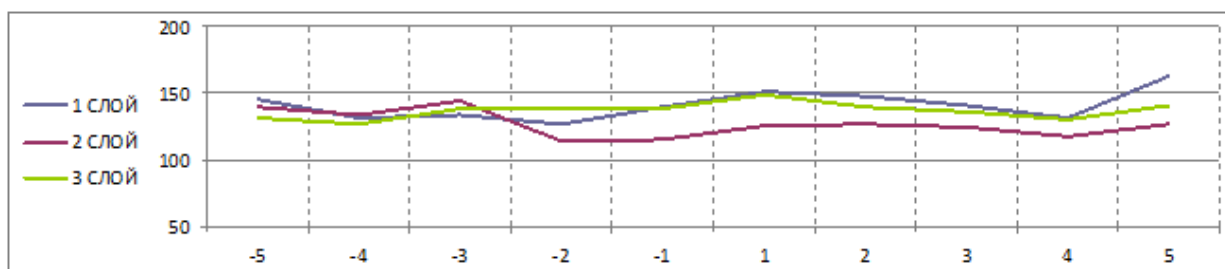


Рисунок 44 – Распределение твердости по сечению образца №1, НВ

В результате проведения механических испытаний получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной дуговой пайкой, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки составило не менее 50%, что соответствует требованиям нормативной документации [30].

4.2. Результаты исследований процесса дуговой пайки в среде аргона припоем на основе меди (сплав CuSi3).

Анализируя макроструктуру образца №2 можно увидеть, что так же как и образец №1 соединение не имеет расплавления основного металла трубы. Этот факт позволяет утверждать также о минимальном тепловом воздействии при данном способе присоединения вывода ЭХЗ (рис. 45). Схожесть результатов обусловлена использованием припоев на основе меди (сплав CuSi3). Но в отличии от образца № 1 наблюдается меньшая площадь растекания припоя.



Рисунок 45 – Макроструктура дуговой наплавки (пайки) в среде аргона припоем на основе меди (сплав CuSi3), образец №2, x2,5

Замеры твёрдости металла в околошовной зоне образца №2 показали схожие с образцом №1 результаты. Которые также практически идентичные твёрдости металла трубы вне зоны присоединения вывода ЭХЗ (табл. 11), что говорит о минимальном изменении свойств металла.

Таблица 11 – Результаты замеров твёрдости образца №2, НВ

слой	замер									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
1	171	175	142	147	136	138	113	125	111	86
2	171	152	155	155	146	142	166	160	166	137
3	183	169	151	145	137	122	107	115	106	105

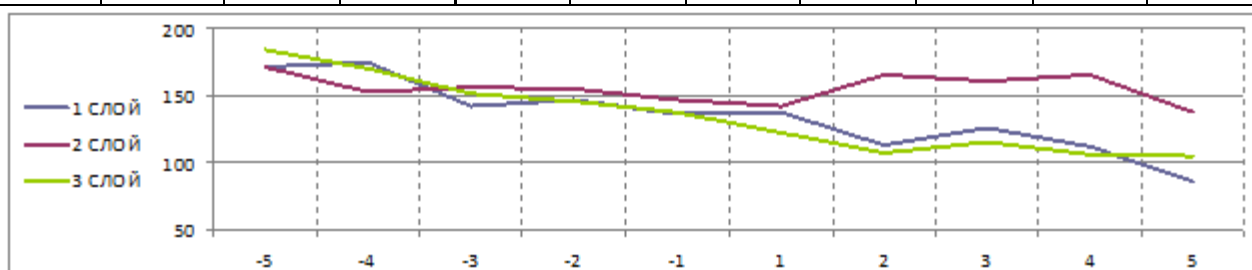


Рисунок 46 – Распределение твердости по сечению образца №2, НВ

В результате проведения механических испытаний получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной дуговой пайкой, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки составило не менее 50%, что соответствует требованиям нормативной документации.

4.3. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием медных термитных смесей с одноразовой тигель-формой

Анализируя микроструктуру образца №3 можно увидеть, что соединение имеет расплавления основного металла трубы. Этот факт позволяет утверждать о тепловом воздействии при данном способе присоединения вывода ЭХЗ (рис. 47).



Рисунок 47 – Микроструктура наплавки термитной сваркой с использованием медных термитных смесей с одноразовой тигель-формой, образец №3, x2,0

Замеры твёрдости металла в околошовной зоне показали увеличение твёрдости металла трубы (табл. 12), что говорит об изменении свойств металла.

Таблица 12 – Результаты замеров твёрдости образца №3, НВ

слой	замер									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
1	206	194	218	207	209	183	203	201	170	148
2	208	187	183	208	213	181	180	202	140	137
3	204	207	202	204	212	199	218	204	172	163

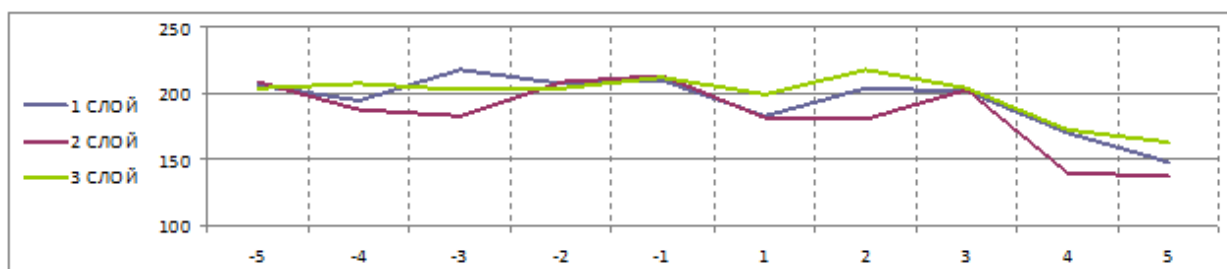


Рисунок 48 – Распределение твердости по сечению образца №3, НВ

В результате проведения механических испытаний образца №3, получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной термитной сваркой с использованием одноразовой тигель-формы, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки составило не менее 50%, что соответствует требованиям нормативной документации.

4.4. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием медных термитных смесей с многоразовой тигель-формой

Анализируя микроструктуру образца №4 можно увидеть, что соединение имеет значительное расплавления основного металла трубы. Этот факт позволяет утверждать о значительном тепловом воздействии при данном способе присоединения вывода ЭХЗ (рис. 49).



Рисунок 49 - Микроструктура наплавки термитной сваркой с использованием медных термитных смесей с многоразовой тигель-формой, образец №4, x2,0

Замеры твёрдости металла в околошовной зоне образца № 4 показали значительное увеличение твёрдости металла трубы (табл. 13), что говорит об изменении свойств металла.

Таблица 13 - Результаты замеров твёрдости образца №4, НВ

слой	замер									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
1	162	180	183	199	225	227	208	205	193	165
2	166	179	198	217	219	208	215	198	167	207
3	169	159	203	217	220	239	219	205	188	211

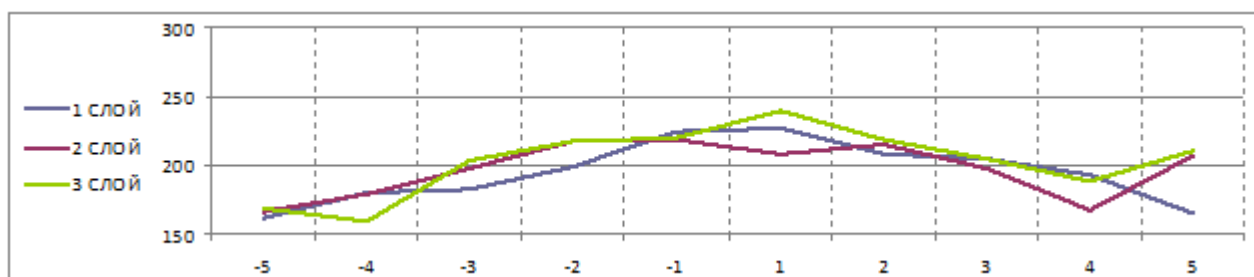


Рисунок 50 – Распределение твердости по сечению образца, НВ

В результате проведения механических испытаний образца №4, получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной термитной сваркой с использованием многоразовой тигель-формы, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки составило не менее 50%, что также соответствует требованиям нормативной документации.

4.5. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием термокарандашей из прессованной медной термитной смеси в комплекте с многоразовыми графитовыми тигель-формами

Анализируя микроструктуру образца №5 можно увидеть, что соединение имеет также как и образец № 4 значительное расплавления основного металла трубы. Этот факт позволяет утверждать о значительном тепловом воздействии при данном способе присоединения вывода ЭХЗ (рис. 51). Также можно отметить появление внутренних дефектов, таких как поры.



Рисунок 51 - Микроструктура наплавки термитной сваркой с использованием термокарандашей из прессованной медной термитной смеси в комплекте с многоразовыми графитовыми тигель-формами, образец №5, x2,0

Замеры твёрдости металла в околошовной зоне образца № 5 показали схожее с образцом № 4 значения твёрдости металла трубы (табл. 14), что

говорит о схожести изменении свойств металла.

Таблица 14 - Результаты замеров твёрдости образца №5, НВ

слой	замер									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
1	188	168	220	205	203	200	162	160	141	127
2	142	152	162	173	198	192	195	174	160	158
3	159	163	184	210	190	191	193	190	184	185

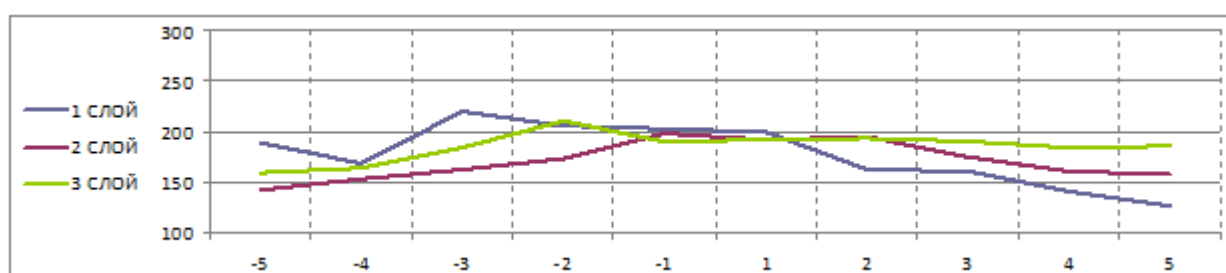


Рисунок 52 – Распределение твердости по сечению образца №5, НВ

В результате проведения механических испытаний образца №5, получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной термитной сваркой с использованием термокарандашей и многоразовой тигель-формы, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки составило не менее 50%, что также соответствует требованиям нормативной документации.

4.6. Результаты исследований процесса термитной сварки с использованием паяльно-сварочных стержней из медных термитных смесей в комплекте с многоразовыми графитовыми оправками

Анализируя микроструктуру образца №6 можно увидеть, что в отличие от всех предыдущих образцов имеет самое значительное расплавления основного металла трубы. Это говорит о самом значительном тепловом воздействии при данном способе присоединения вывода ЭХЗ (рис. 53).



Рисунок 53 - Микроструктура наплавки термитной сваркой с использованием паяльно-сварочных стержней из медных термитных смесей в комплекте с многоразовыми графитовыми оправками, образец №6, х2,0

Твёрдость металла в околошовной зоне образца № 6 оказалась на много выше всех предыдущих образцов (табл. 15), что говорит о значительном изменении свойств металла.

Таблица 15 - Результаты замеров твёрдости образца №6, НВ

слой	замер									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
1	111	115	126	238	280	273	155	131	116	117
2	127	127	110	244	162	143	144	132	106	109
3	124	206	182	266	286	168	162	147	143	133

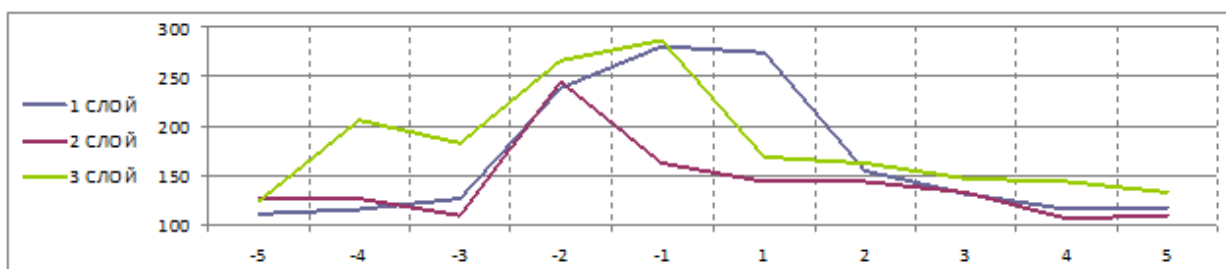


Рисунок 54 – Распределение твердости по сечению образца №6, НВ

Проведенные механические испытания образца №6, выполненной паяльно-сварочным стержнем из медных термитных смесей в комплекте с многоразовой графитовой оправкой, показали значение прочности на сдвиг наплавки, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки составило не менее 50%, что также соответствует требованиям нормативной документации.

Проведя сопоставительный анализ полученных результатов можно сделать вывод, что при применении наиболее распространённых способов сварки выводов ЭХЗ таких как термитная и ручная дуговая сварки наблюдается значительное изменение структуры и свойств основного металла околошовной зоны магистрального трубопровода. Причиной такого изменения является высокотемпературное воздействие термитной смеси и сварочной дуги. Изменение структур металла приводит к росту напряжений в околошовной зоне и соответственно к снижению надёжности трубопровода. Проведённый анализ существующих способов сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов позволяет говорить, что применяемые способы либо не позволяют обеспечить требуемого качества, либо требуют тщательной подготовки процесса сварки, либо являются экономически нецелесообразными.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать применение в качестве способа сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов электродугую пайку с использованием присадочной проволоки (пропоя) на основе меди и медных сплавов. Данные припои показали лучшие результаты в ходе исследования, а также хорошие показатели коррозионной стойкости.

5. Технологический процесс дуговой пайки вывода ЭХЗ

Проведенные исследования показали возможность применения для присоединения вывода ЭХЗ дуговой пайки в среде аргона с использованием присадочного материала (припоя) на основе меди и медных сплавов. Исходя из объема промышленного применения, механических и эксплуатационных свойств в качестве припоя (присадочного материала) можно рекомендовать электродную проволоку Dt 2.1367 (CuMn13Al7) или CuSi3, поскольку они показали сходные характеристики.

Технология дуговой пайки вывода электрохимической защиты состоит из следующих основных операций: очистка поверхности труб и деталей трубопровода; обезжиривание поверхности; просушка поверхности трубы; закрепление вывода электрохимической защиты на поверхности трубы; проведение дуговой пайки; контроль качества. Основным преимуществом предлагаемой технологии является высокая мобильность и гибкость процесса, высокое качество паяного соединения и низкое переходное сопротивление.

Предлагаемый типовой технологический процесс пайки может быть использован для труб диаметром 159-1220 мм с толщиной стенки от 4 до 30 мм. Рекомендуемая минимальная температура при которой могут производиться работы по дуговой пайке выводов электрохимической защиты не ниже минус 40°C.

5.1. Очистка поверхности труб и элементов трубопроводов

В процессе сборки и дуговой пайки сварки выводов ЭХЗ необходимо в полной мере выполнять советы завода производителя данных труб, для чего в технологические карты по сварке обязательно должны быть добавлены особые указания. При отсутствии специальных требований по пайке следует выполнять в соответствии с требованиями РД.

Поверхность трубопровода в месте пайки выводов ЭХЗ и на

расстоянии не менее 50 мм в каждую сторону от места пайки должна быть очищена от изоляции, краски, шлака и прочих загрязнений. Рекомендуется для очистки использовать щетки-сметки, щетки щетинные.

Для очистки поверхности от изоляции требуется произвести разметку на поверхности покрытия удаляемой площади с использованием шаблона 150x200 мм и линейки 300мм.

Провести разогрев удаляемого покрытия до температуры от 70°C до 80°C при помощи фена строительного или газовой горелки.

Удалить изоляционное покрытие скребком или стальной щеткой. Остатки изоляционного покрытия (адгезива, грунтовки) удалить стальной щеткой.

5.2. Подготовка поверхности трубы и вывода ЭХЗ

Перед подготовкой необходимо осмотреть поверхность труб и деталей трубопровода. Проводится зачистка поверхности трубы под удаленным покрытием до чистого металла. Возможна очистка поверхности шлифмашинкой с применением дисковых проволочных щеток, ручной проволочной щеткой, напильником, наждачной бумагой.

Провести обезжиривание и просушку поверхности. На поверхности трубопровода в месте приварки выводов ЭХЗ не допускается наличие следов влаги или конденсата. При наличии следов влаги и конденсата необходимо провести просушку поверхности до температуры от 30°C до 50°C с применением газовых горелок.

Произвести оголение жилы кабеля вывода ЭХЗ на длину 120 мм при помощи монтерского ножа. Зачистить поверхность до чистого металла проводников оголенной жилы (нож монтерский, наждачная бумага). Вывод ЭХЗ должен быть зачищен механическим способом до чистого металла на длину не менее 50 мм.

5.3. Сборка вывода ЭХЗ под пайку

Придать привариваемому концу жилы кабеля формы в соответствии с рисунком 55

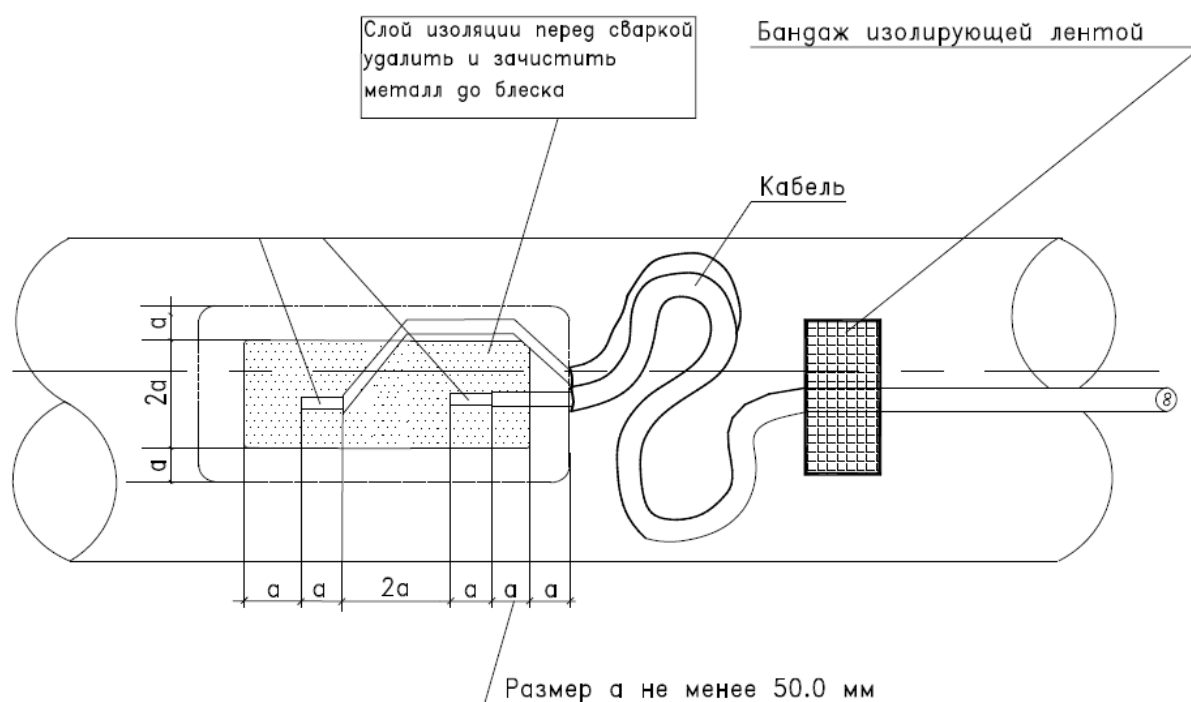


Рисунок 55 - Схема присоединения кабелей катодных выводов и шунтирующих перемычек.

Если температура окружающего воздуха ниже 5°C , просушить поверхность зоны сварки, повышая температуру трубы в этом месте до значений от 20°C до 50°C . Для подогрева рекомендуется использовать фен строительный.

Закрепить привариваемый кабель в зоне сварки при помощи скотча (липкой ленты) так, чтобы в жила кабеля была прижата к поверхности трубы в зоне сварки и не меняла своего положения в процессе сварки. Закрепление кабеля производится по изоляции.

5.4. Сварка вывода ЭХЗ

При соединении трубопровода с выводом ЭХЗ методом дуговой пайки зажигание (возбуждение) дуги следует выполнять в непосредственной

близости от места пайки. Запрещается возбуждать дугу и выводить кратер на основной металл за пределы паяного соединения.

Ожоги поверхности основного металла дугой не допускаются. В случае их появления они должны быть зачищены абразивным инструментом на глубину 0,3...0,5мм.

Для сварки труб с эмалевым покрытием могут успешно применяться полуавтоматы «MIGATRONIC BDH PS – 550», KEMPPI и аналогичные (см. табл. 16).

Таблица 16 - Источники для дуговой пайки выводов ЭХЗ.

Оборудование	Припой	Особенности режима пайки и сварки	Сила тока, А	Напряжение, В	Расход и тип газа, л/мин
Transpulssynergic 2700 FRONIUS	CuSi3, Dt 2.1367	Импульсный	80-240	22-27	14-18 Аргон
Flex 3000 MIGATRONIC	CuSi3, Dt 2.1367	Импульсный	50-300	20-32	10-24 Аргон
KEMPPI PSS 5000	Св08Г2С	Импульсный	110-120	22-24	9-11 CO ₂
KEMPPI PSS 5000	CuSi3	Импульсный	90-120	22-27	14-18 Аргон

Для пайки выводов ЭХЗ выбираем из проанализированных источников аппарат полуавтоматической сварки «KEMPPI» на базе инверторного источника питания PSS 5000 с блоком подачи проволоки FU20. Для контроля параметров режима пайки (ток, напряжение) полуавтомат оснащен выносным блоком MU10 и дистанционным регулятором тока и напряжения C110D. Для проведения процесса дуговой пайки в инертных газах на полуавтомате используется мультисистемный блок C120P, что позволяет оперативно, в процессе пайки, производить корректировку параметров режима пайки. Полуавтомат позволяет проводить дуговую пайку в инертных газах на обратной полярности в импульсном режиме. При пайке на импортном оборудовании использовались импульсные источники этих фирм.

В качестве присадочной проволоки рекомендуется использовать электродную проволоку из марганцовистой бронзы Dt 2.1367 или сплав CuSi3. Диаметр проволоки составляет 0,85...1,2 мм. Проведенные исследования позволили рекомендовать основные режимы пайки: напряжение 18...21 В, постоянный ток обратной полярности, скорость подачи присадочной проволоки 3,7...4,2 м/мин и скорости сварки 0,2...0,4 м/мин [6].

Непосредственно после сварки следует очистить сварное соединение от остатков шлака и брызг металла для дальнейшего контроля качества паяного соединения

5.5. Контроль качества соединений

Все паяные соединения труб с выводами ЭХЗ должны подвергаться контролю неразрушающими методами в объемах указанных в проектной документации.

По окончании пайки выводов ЭХЗ необходимо [29,30]:

- дать остыть месту пайки, зачистить вывод ЭХЗ от шлака металлической щеткой, наждачной бумагой до металлического блеска;
- провести визуальный и измерительный контроль размеров наплавки: высота наплавки должна быть $5,0 \pm 2,0$ мм, диаметр - $30 \pm 5,0$ мм, допускаются отдельные поры на поверхности наплавки диаметром до 1,0 мм;
- проверить прочность пайки многократным изгибом просоединенного вывода ЭХЗ;

Паяные соединения признаются прошедшими испытания [29,30]:

- в результате проведения визуально-измерительного контроля в сварных соединениях переходной пластины и приваренного вывода электрохимической защиты, выполненных ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, и (или) наплавке, выполненной с использованием термитной сварки, отсутствуют недопустимые поверхностные дефекты и размеры сварных швов и наплавки ЭХЗ соответствуют требованиям

нормативных документов, регламентирующих требования к качеству;

- если в результате проведения механических испытаний получено значение прочности на сдвиг наплавки, выполненной термитной сваркой, не менее 50 МПа, при этом отношение площади сплавления к площади наплавки должно быть не менее 50%.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации были проанализированы применяющиеся и возможные для применения способы сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов. Установлено, что при применении наиболее распространённых способов сварки выводов ЭХЗ таких как термитная и ручная дуговая сварки наблюдается значительное изменение структуры и свойств основного металла околошовной зоны магистрального трубопровода. Причиной такого изменения является высокотемпературное воздействие термитной смеси и сварочной дуги. Изменение структур металла приводит к росту напряжений в околошовной зоне и соответственно к снижению надёжности трубопровода. Проведённый анализ существующих способов сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов позволяет говорить, что применяемые способы либо не позволяют обеспечить требуемого качества, либо требуют тщательной подготовки процесса сварки, либо являются экономически нецелесообразными.

В данной работе для сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов предложено использовать электродуговую пайку которая оказывает минимальное влияние на изменение структуры и свойств металла трубопровода, не приводит к росту напряжений в околошовной зоне, что позволяет говорить о повышении надёжности магистрального трубопровода. Примененная присадочная проволока (пропой) на основе меди и медных сплавов обладает высокой коррозионной стойкостью.

Для исследования различных способов сварки и пайки выводов ЭХЗ была разработана методика, скомпоновано необходимое оборудование и оснастка.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать применение в качестве способа сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов электродуговую пайку с использованием присадочной проволоки (пропоя) на основе меди и медных сплавов. Данные припои показали лучшие результаты в ходе исследования, а также хорошие показатели коррозионной стойкости.

На основании проведенных исследований была разработана технология сварки выводов ЭХЗ магистральных трубопроводов ручной дуговой пайкой, с применением присадочной проволоки (пропоя) на основе меди и медных сплавов.

Список использованных источников

1. Гуляев, А. П. Металловедение. [Текст]: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. / А. П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
2. Козулин, М. Г. Производство сварных конструкций. [Текст]: Учебн. пособие к дипломному проектированию / М. Г. Козулин. – Тольятти: ТолПИ, 1991 – 62 с.
3. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста. [Текст]: учеб.-метод. пособие / А.Г. Егоров [и др.]; ТГУ ; Архитектурно-строительный ин-т ; каф. "Дизайн и инженерная графика". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2013. - 98 с. : ил. - Библиогр.: с. 69-70. - Прил.: с. 71-96. - 37-67.
4. Лашко, Н. Ф. Пайка металлов. [Текст] / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко. - М.: Машиностроение, 1977. - 328 с.
5. Лашко, С. В. Пайка металлов. [Текст] / С. В. Лашко, Н.Ф. Лашко. - М.: Машиностроение, 1988. - 376 с.
6. Справочник по пайке [Текст] / Под ред. И.Е. Петрунина. - М.: Машиностроение, 2003. - 480 с.
7. Хряпин, В. Е. Справочник паяльщика. [Текст] / В. Е. Хряпин. - 5-е изд.. - М.: Машиностроение, 1981. - 349 с.
8. Справочник по пайке [Текст] / Под ред. И.Е. Петрунина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2003. - 480 с.; ил.
9. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные Общие требования к защите от коррозии. [Текст]: постановление Госстандарта РФ от 23 апреля 1998 г. N 144. - 36 с.
10. ГОСТ 9.602-2005. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. [Текст]: приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №262 от 25.10.2005. - Введ. 01.01.2007 - М.: Стандартинформ, 2006. – 262 с.

11. РД-91.020.00-КТН-234-10. Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и сооружений НПС. [Текст]: утвержден 18.10.2010. ОАО «АК «Транснефть». - Введ. 2010-29-10.
12. ОТТ-29.100.99-КТН-163-12. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Электрохимическая защита. Анодные заземлители. Общие технические требования. [Текст]. - ООО «НИИ ТНН» Утвержден ОАО "АК "Транснефть" 30.08.2012. - Введ. 2012- 01-10.
13. Техника антикоррозионной защиты подземных трубопроводов [Текст] : учеб. пособие / В. В. Кравцов [и др.]. – Уфа : Монография, 2008. - 381 с. - Библиогр.: с. 377-379. - 500 экз. - ISBN 978-5-94920-102-2 () : Б. ц. В надзаг.: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т.
14. Киреев Дамир Мунирович. Обеспечение безопасной эксплуатации разветвленной сети подземных технологических трубопроводов: диссертация кандидата технических наук. [Текст] / Киреев Дамир Мунирович. 05.26.03.- Уфа, 2002.- 139 с.
15. Малкин, Б. В. Термитная сварка. [Текст] / Б. В. Малкин, А. А. Воробьев. — М.: Издательство Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР, 1963. — 104 с. — 4000 экз.
16. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте [Текст] / Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюк. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2003. - 351 с.
17. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. [Текст] / А. Г. Потапьевский. - Издание 2-е, переработанное. - К.: «Екотехнологія», 2007. – 192 с.
18. Потапьевский, А. Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография [Текст] / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.

19. Ленивкин, В. А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. [Текст] / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
20. Гарбер, Ю. И. Эффективность изоляционных покрытий, нанесенных в трассовых условиях. [Текст] / Ю. И. Гарбер. // Строительство трубопроводов, 1992, № 7, с. 21-23.
21. ГОСТ 31448-2012 "Трубы стальные с защитными наружными покрытиями для магистральных газонефтепроводов. Технические условия" [Текст]: – Введ. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 июня 2013 г. N 143-ст.
22. Зиневич, А. М. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. [Текст] / А. М. Зиневич, В. И. Глазков, В. Г. Котик. - М., Изд. «Недра», 1975.
23. Мустафин, Ф. М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями. [Текст] / Ф. М. Мустафин. // Нефтегазовое дело. – 2003. – 14 с.
24. Никитенко, Е. А. Монтер по защите подземных трубопроводов от коррозии. [Текст] / Е. А. Никитенко, Я.М. Эдельман. - М.: Недра. – 1981. – 254 с.
25. Дизенко, Е. И. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. [Текст] / Е. И. Дизенко, В. Ф. Новоселов, П. И. Тугунов, В. А. Юфин. - М., изд. «НЕДРА», 1978. – 199 с.
26. Ментюков, И. В. Электрохимическая защита магистральных трубопроводов от коррозии. [Текст] / И. В. Ментюков. - М., ГАНГ, 1996. - 67 с.
27. Котик, В. Г. Катодная защита магистральных трубопроводов. [Текст] / В. Г. Котик. - М., изд. «НЕДРА», 1964. - 207с.
28. ВСН 009-88. «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Средства и установки электрохимзащиты» [Текст]. – Введ. - М.: Миннефтегазстрой, 1990.

29. ОТТ-25.160.00-КТН-068-10. «Технические решения по приварке к нефтепроводу и нефтепродуктопроводу вантузов, патрубков для приборов КИП, бобышек и термокарманов, катодных выводов для монтажа кабелей ЭХЗ». Общие технические требования. [Текст]: - Введ. 2009-31-12. 221 с.
30. СТО Газпром 2-22-136-2007. «Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных магистральный трубопроводов. Часть I». Руководящий документ. [Текст]: – Утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «ГАЗПРОМ» от 28 июня 2007 г. № 171.