

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Технологических машин, транспорта и логистики»

УДК 621.643.053

На правах рукописи

Мамышев Амангелді Болатұлы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации Исследование способов сооружения нефтеперекачивающих магистральных трубопроводов в условиях Казахстана

Направление подготовки 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Научный руководитель

Ассоциированный профессор

(ученая степень, звание)

Карманов Т.Д.

Карманов Т.Д.

подпись

Ф.И.О.

" 18 " 06 2021г.

Рецензент

д.т.н., профессор

(ученая степень, звание)

Кудайкулова Г.А.

Кудайкулова Г.А.

подпись

Ф.И.О.

" 18 " 06 2021г.



Нормоконтроль

к.т.н., ассистент-профессор

(ученая степень, звание)

Бортебаев С.А.

Бортебаев С.А.

подпись

Ф.И.О.

" 18 " 06 2021г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

Технологических машин, транспорта и логистики

(наименование кафедры)

к.т.н., ассоциированный профессор

(ученая степень, звание)

Елемесов К.К.

Елемесов К.К.


подпись

Ф.И.О.

" 18 " 06 2021г.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТМиО
канд. техн. наук, ассоц. профессор


К.К. Елемесов
«04» 12 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Мамышеву Амангелді Болатулы

Тема: Исследование способов сооружения нефтеперекачивающих магистральных трубопроводов в условиях Казахстана

Утверждена приказом Ректора Университета №435-м от "3 декабря 2019г.

Срок сдачи законченной диссертации

"15"мая 2021г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Обзор зарубежных рекомендаций и методов повышения эффективности, заземляющих устройств, для защиты от коррозии

б) Анализ и обзор мероприятий, направленных на снижение эффекта экранирования катодной защиты

в) Краткая характеристика объекта исследования

г) Расчет катодной защиты и анодного заземлителя

д) Построение модели для решения задач

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Рекомендуемая основная литература:

1 Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей: учебное пособие – Москва: СтройиздатЮ – 2004.



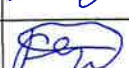


2 Мустафин Ф.М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Нефтегазовое дело 2003.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Литературный обзор	10.01.2020	
2 Текущий анализ проблемы исследования	06.04.2020	
3 Сведения об объекте исследования	15.09.2020	
4 Обоснование и расчет устройств катодной защиты	02.02.2021	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Литературный обзор	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д.	10.01.2020	
Текущий анализ проблемы исследования	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д.	06.04.2020	
Сведения об объекте исследования	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д.	15.09.2020	
Обоснование и расчет устройств катодной защиты	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д.	02.02.2021	
Нормоконтролер	к.т.н., ассистент профессор Бортебаев С.А.	18.06.2021	

Научный руководитель


(подпись)

Карманов Т.Д.

Задание принял к исполнению обучающийся


(подпись)

Мамышев А.Б.

Дата

" 18 " 06 2021 г.

АННОТАЦИЯ

В этой работе рассмотрены ряд задач, которые были решены в ходе выполнения магистерской работы:

- проведен литературный обзор способов сооружения и методов защиты от коррозии нефтеперекачивающих трубопроводов;
- проведен анализ проблемы исследования и обзор мероприятий на повышение эффективности катодной защиты;
- произведен расчет катодной защиты, анодного заземлителя и по полученным расчетам, произведен подбор анодного заземления, подходящего для нашего магистрального нефтепровода;
- построена трехмерная модель для расчета пространственной заземляющей системы состоящей из нескольких электродов заземлителей.

В результате исследования разработан метод определения оптимального расстояния между заземлителями. Полученные результаты могут представлять научный и практический интерес при сооружении катодной защиты.

Работа состоит из введения, литературного обзора, расчетной части, экспериментальной части, обсуждения экспериментальных результатов, заключения, списка использованных источников.

АНДАТПА

Бұл жұмыста магистр жұмысы барысында шешілген бірқатар мәселелер қарастырылады:

- мұнай айдау құбырларын коррозиядан қорғау әдістері мен әдістеріне әдеби шолу жасалды;
- зерттеу проблемасына талдау жасалды және катодты қорғаныстың тиімділігін арттыру жөніндегі шараларға шолу жасалды;
- катодты қорғаныстың, жердегі анодты электродтың есебі жасалды және есептеулерге сәйкес біздің магистральдық мұнай құбырына жарамды анодты жерлендіру таңдалды;
- бірнеше электродтардан тұратын кеңістіктегі жерге қосқыш жүйесінің есептеу үшін үш өлшемді модель жасалды.

Зерттеу нәтижесінде жердегі электродтар арасындағы оңтайлы қашықтықты анықтайтын әдіс жасалды. Алынған нәтижелер катодты қорғаныс құрылысында ғылыми және практикалық қызығушылық тудыруы мүмкін.

Жұмыс кіріспеден, әдеби шолудан, есептеу бөлімінен, эксперименттік бөлімнен, эксперимент нәтижелерін талқылаудан, тұжырымдардан, пайдаланылған дерек көздерінің тізімінен тұрады.

ANNOTATION

In this paper, we consider a number of tasks that were solved during the implementation of the master's work: - a literature review of methods of construction and methods of corrosion protection of oil pumping pipelines is carried out; - an analysis of the research problem and a review of measures to improve the efficiency of cathodic protection were carried out; - the calculation of the cathodic protection, the anode earthing device was made, and according to the calculations obtained, the selection of the anode earthing device suitable for our main oil pipeline was made; - a three-dimensional model for calculating the spatial grounding system consisting of several grounding electrodes is constructed. As a result of the study, a method for determining the optimal distance between earthing devices was developed. The results obtained may be of scientific and practical interest in the construction of cathodic protection.

The work consists of an introduction, a literature review, a calculation part, an experimental part, a discussion of experimental results, conclusions, and a list of sources used.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Литературный обзор	8
1.1 Способы сооружения магистральных нефтеперекачивающих трубопроводов	8
1.2 Виды коррозионных процессов	9
1.3 Методы защиты подземных трубопроводов от коррозии	14
1.4 Виды анодных заземлителей	21
2 Текущий анализ проблемы исследования	28
2.1 Влияние негативных факторов на эффективность защиты нефтепроводов от коррозии	28
2.2 Обзор зарубежных рекомендации и методов повышения эффективности, заземляющих устройств, для защиты от коррозии	28
2.3 Анализ и обзор мероприятий, направленных на снижение эффекта экранирования катодной защиты	30
3 Сведения об объекте исследования	32
3.1 Краткая характеристика объекта исследования	32
3.2 Сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях трассы МН «Актау-Жетыбай-Узень»	32
4 Обоснование и расчет устройств катодной защиты	34
4.1 Расчет катодной защиты и анодного заземлителя	
4.2 Выбор анодного заземлителя	40
5 Создание расчетной модели	42
5.1 Постановка задачи моделирования	42
5.2 Построение модели для решения задач	42
5.3 Результаты моделирования и исследования	47
Заключение	49
Список использованной литературы	50

ВВЕДЕНИЕ

Транспортировка нефти по трубопроводам является важным транспортным процессом в нефтяной отрасли Республики Казахстан. В современных условиях защита от коррозии магистральных нефтепроводов в процессе длительной эксплуатации является одним из важнейших способов обеспечения их безотказной работы. Интенсивность коррозионного разрушения, следовательно, и состояние трубопровода зависит от ряда факторов, а именно: коррозионной активности, характеристики грунтов в месте прокладки, глубина залегания участка трубопровода, в местах пересечения с линиями электропередач (источниками блуждающего тока), качество изоляционного покрытия, эффективность средств электрохимической защиты (ЭХЗ) и тд. Известно, что для эффективной борьбы с коррозией нефтепроводов используют так называемую катодную защиту. Данный метод подразумевает подачу отрицательного защитного потенциала на поверхность защищаемой детали.

Целью исследований является повышение эксплуатационных свойств нефтепроводов путем применения катодной защиты с анодным заземлителем.

Объектом исследования является трасса магистрального нефтепровода «Актау-Жетыбай-Узень».

Научные положения:

1-ое научное положение: В зависимости от изменения расстояния расположения электрода заземлителя друг от друга изменения сопротивления растекания тока при увеличении уменьшиться, при уменьшении увеличиться.

2-научное положение: Сопротивление растекания тока при длине расположения электрода заземлителя друг от друга равным - 1,83м будет соответствовать своему наименьшему значению

Научная новизна. С помощью компьютерной модели и расчетов было определено оптимальное расположение анодных заземлителей на трассе нефтеперекачивающих магистралей.

Практическая значимость работы состоит в расчете катодной защиты для нефтепровода «Актау-Жетыбай-Узень».

Апробация полученных результатов. Результаты исследовательских работ были опубликованы в изданиях Международные Сатпаевские чтения.

1 Литературный обзор

1.1 Способы сооружения магистральных нефтеперекачивающих трубопроводов.

В зависимости от характеристики местности, свойства и давления транспортируемого вещества, на основании технико-экономического обоснования трубопроводы сооружают следующими способами:

- 1) наземный;
- 2) надземный;
- 3) подземный;
- 4) подводный.

Наземная схема прокладки преимущественно используется в сильно обводнённых и заболоченных районах при высоком уровне грунтовых вод и очень малой несущей способности верхнего слоя грунта, на солончаковых грунтах, при наличии подстилающих скальных пород, а также при пересечении с другими коммуникациями или когда иной способ прокладки трубопровода невозможен.

При наземной прокладке верхняя образующая трубопровода располагается выше отметок дневной поверхности, а нижняя образующая – ниже, на уровне или выше дневной поверхности. Для безопасности и сохранности поверхности трубы целесообразно выполнять обваловку трубопровода.

При наземной укладке сокращается объём земляных работ, сохраняется температурный баланс трубопровода. Однако частично ограничивается возможность ведения сельскохозяйственной деятельности и естественная миграция животных, но при всех её преимуществах, недостатком является слабая устойчивость грунта насыпи и необходимость устройства большого числа водопропускных сооружений.

Надземная прокладка трубопроводов рекомендуется в пустынных, горных, болотистых местностях, районах горных выработок, оползней и районах распространения вечномёрзлых грунтов, а также на переходах через естественные и искусственные препятствия.

При надземной прокладке сводится к минимуму объём земляных работ, отпадает необходимость в дорогостоящей балластировке, а также в устройстве защиты от почвенной коррозии и блуждающих токов. Однако надземная укладка имеет недостатки: загромождённость территории, устройство опор, специальных проездов для техники и миграции животных, значительная подверженность трубопровода суточным и сезонным колебаниям температуры, что требует принятия специальных мер и сооружения «компенсаторов». Для транспортировки высоковязких и застывающих нефтей, а также трубопроводы в районах вечномёрзлых грунтов прокладываются с путевым подогревом или с тепловой изоляцией в каналах и коллекторах. Для сокращения тепловых потерь стенки каналов изготавливают из теплоизоляционных материалов.

Особенности прокладки трубопроводов в условиях горных районов, шахтных разработок, сейсмических районов, районах вечномёрзлых грунтов, пустынь рассмотрим позднее [1].

Подземная схема укладки является наиболее распространённой (98% от общей протяжённости) и предусматривает укладку трубопровода в грунт на глубину, превышающую диаметр трубопровода.

При подземной укладке достигается максимальная механизация работ всех видов, не загромождается территория после окончания строительства, используются пахотные земли, отсутствует воздействие солнечной радиации и атмосферных осадков, трубопровод находится в стабильных температурных условиях. Сооружённый трубопровод не нарушает и сохраняет возможность естественной миграции животных. При возникновении аварийной ситуации и разрушении трубопровода, возникающая взрывная волна поглощается грунтом. Однако на участках с вечномёрзлыми, скальными и болотистыми грунтами данная схема укладки является неэкономичной из-за высокой стоимости земляных работ. Кроме того, необходимость специальной балластировки на участках с высоким стоянием грунтовых вод и надёжного антикоррозионного покрытия от почвенной коррозии значительно удорожает стоимость строительства. Отсутствует возможность постоянного контроля за состоянием трубопровода. Выявленные дефекты могут быть устранены только при проведении капитального ремонта трубопровода [2].

При сооружении подводной прокладке трубопроводов все виды работ, включая транспортировку, разгрузку и складирование труб, сварку труб в звенья и в секции, очистку труб и их изоляцию выполняют на берегу строительной площадки. Применяют следующие способы подводной укладки трубопроводов: протаскивание трубопроводов по дну, укладка трубопроводов погружением с поверхности воды, укладка трубопроводов с плавучих опор, опускание трубопроводов со специальных судов [3].

1.2 Виды коррозионных процессов

По механизму протекания коррозии различают два основных вида коррозии: химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия возникает в результате химической реакции металлов с не электролитами в зоне их непосредственного контакта. Электрохимическая коррозия возникает на поверхности металла в результате его окисления в коррозионной среде – электролите. Электролитами могут являться: грунтовая и морская вода, вода рек, озер и болот, растворы кислот, щелочей, солей. Основной особенностью данного вида коррозии является то, что этот процесс сопровождается появлением электрического тока. Этот вид коррозии в эксплуатации подземных нефтепроводов наиболее распространен, ему подвержены наружные поверхности нефтепроводов, находящиеся под воздействием атмосферных и почвенных электролитов.

Электрохимическая коррозия подразделяется на следующие виды:

- 1) коррозия в электролитах – коррозия металлов в жидких средах, проводящих электрический ток;
- 2) почвенная коррозия – коррозия подземных металлических сооружений под воздействием почвенных электролитов;
- 3) электрокоррозия – коррозия металлических сооружений под воздействием блуждающих токов;
- 4) атмосферная коррозия – коррозия металлов в атмосфере, содержащего пары воды;
- 5) биокоррозия – коррозия, вызванная жизнедеятельностью микроорганизмов;
- 6) контактная коррозия – коррозия на границе контакта двух различающихся по своим свойствам металлов имеющих разную коррозионную стойкость в присутствии электролита.

Известно, что разные металлы в различной степени подвержены коррозии. В качестве электролита могут выступать вода, растворы кислот, солей, щелочей, водяные пары в составе воздушной смеси. Положительно заряженные кристаллической решетки ионы металла постоянно контактируют с электролитом, переходят в него, оставляя отрицательные заряды, далее возвращаются обратно. Если количество перешедших в раствор ионов совпадает с количеством вернувшихся, то на металле устанавливается динамическое равновесие, при этом коррозия в металле не происходит. Металл корродирует тогда, когда количество положительно заряженных ионов металла попавших в раствор электролита превышает количество ионов вернувшихся обратно. В результате чего на металле остаются отрицательные заряды. Чем легче совершаются ионные переходы, тем больше образуется отрицательных зарядов, тем менее коррозионностойким считается металл, тем более он подвержен коррозии. Чем выше значение количественного показателя степени способности металла переходить в раствор в ионном состоянии, тем медленнее совершаются ионные переходы металла в электролит, значит тем менее данный металл, подвержен коррозии.

Механизм процесса электрохимической коррозии тесно связан с работой гальванических элементов, образующихся на поверхности металла. Главная причина их образования неоднородность поверхности металла из-за примесей пор, каверн, трещин, увлажнения и других факторов. В результате этого на поверхности металла формируются участки с разным электрохимическим потенциалом. При взаимодействии электролита с металлом протекают два самостоятельных процесса: анодный и катодный. Анодный процесс: ионы металла переходят в раствор электролита, где происходит их гидратация. А оставшиеся электроны перемещаются к катоду. В результате на аноде происходит разрушение металла. Катодный процесс: это ассимиляция или захват избыточных электронов появившихся в металле каким-либо деполяризатором, содержащимся в растворе молекулы или ионы, которого способны восстанавливаться на катоде. Если деполяризатором

являются ионы водорода — это реакция водородной деполяризации, если деполяризатор кислород, то это реакция кислородной деполяризации. Оба процесса протекают сопряженно и замедление одного из них, приводит к торможению и другого. Таким образом, электрохимическая коррозия на неоднородной поверхности металла аналогична процессу короткозамкнутого гальванического элемента.

На трубопроводе вследствие различных неоднородностей также возникают коррозионные пары: анодные и катодные участки с разным электрохимическим потенциалом поверхности, что приводит к возникновению рассмотренных выше коррозионных процессов.

Критериями опасности возникновения коррозии для подземных металлических сооружений являются:

- коррозионная агрессивность среды;
- опасное действие постоянного и переменного блуждающих токов.

На всех эксплуатируемых нефтепроводах должны быть выделены участки:

- высокой коррозионной опасности;
- повышенной коррозионной опасности;
- коррозионно-опасные участки.

К участкам высокой коррозионной опасности относятся:

– участки, на которых произошли коррозионные отказы или обнаружены коррозионные повреждения глубиной свыше 15% толщины стенки, а также скорость коррозии превышает 0,5 мм в год;

– участки нефтепроводов, проложенные в грунтах высокой коррозионной агрессивности;

– участки нефтепроводов, находящихся в зоне блуждающих токов, при наличии положительного смещения разности потенциалов «трубаземля».

К участкам повышенной коррозионной опасности относится:

– участки, на которых обнаружены коррозионные повреждения глубиной свыше 10% толщины стенки, а также участки, на которых скорость коррозии находится в пределах 0,3-0,5 мм в год;

– участки нефтепроводов, проложенные в грунтах средней коррозионной агрессивности;

– участки, на которых имеется опасное влияние коррозионного переменного тока;

– переходы через железные и автомобильные переходы, на расстоянии не менее 1000 метров по обе стороны от переходов;

– пересечения с источниками переменного тока (220 кВ и выше), включая участки по обе стороны от пересечения до 1000 метров;

– участки, на которых развивается микробиологическая коррозия;

– участки, склонные к коррозионному растрескиванию под напряжением. К коррозионно-опасным участкам относятся:

– участки, на которых длина защитной зоны устройства катодной защиты менее 3 км;

–участки, имеющие минимальные по абсолютной величине значения поляризационных защитных потенциалов (от -0,95 до -0,85) или выходящего за пределы поляризационных защитных потенциалов (от -1,10 и до -1,15 В).

На скорость протекания процессов коррозии металлов влияют внутренние и внешние факторы.

К внутренним факторам относятся:

- 1) природа металла;
- 2) состояние поверхности металла;
- 3) состояние кристаллической структуры.

По своей природе металлы, имеющие высокий электрохимический потенциал, например, медь и серебро, считаются более коррозионностойкими. Другие, имеющие низкий электрохимический потенциал, например, натрий, магний и алюминий, менее коррозионностойки.

Состояние поверхности металла также влияет на скорость коррозии. При шлифовке или полировке металл более коррозионностоек, при грубой обработке более подвержен коррозии. Поверхностные дефекты, к которым относятся царапины, риски, забоины и другие еще более способствуют развитию коррозии. Кристаллическая структура металла в различных стальных сплавах может иметь дефекты, обладающие повышенной реакционной способностью, а наличие посторонних примесей и включений в сплавах может приводить к росту коррозионного процесса.

К внешним факторам, связанным со свойствами и параметрами агрессивной коррозионной внешней среды, в качестве которых чаще всего фигурируют различные грунты, относятся:

- влажность или водонасыщенность;
- воздухопроницаемость грунта;
- состав и концентрация солей и химически агрессивных солей в грунте;
- концентрация водородных ионов;
- температура окружающей среды;
- удельное электрическое сопротивление грунта.

Влажность или водонасыщенность грунта является основополагающим фактором, влияющим на скорость коррозии, т.к. магистральный нефтепровод прокладывается не только в грунтах, имеющих удельное электрическое сопротивление, но и водах морей, озер и рек, в которых энергетической основой реакции растворения характеризующих переход ионов металла в водный раствор является гидратирующее действие молекул воды. Воздухопроницаемость грунта зависит от его гранулометрического состава, структуры и влажности. Чем меньше величина частиц грунта, плотнее структуры, тем труднее доступ кислорода к поверхности трубопровода, т.е. затрудняется образование коррозионных пар. Тем медленнее протекают процессы кислородной деполяризации. С увеличением концентрации солей и химически агрессивных веществ, глубина

повреждений металла в виде каверн и питтингов возрастает. Особенно растворению металлов содействует присутствие хлоридов и сульфатов, которые вызывают депассивацию стали и увеличивают скорость его растворения. Снижение концентрации водородных ионов в грунте приводит к возрастанию скорости анодного процесса растворения железа и катодный процесс может протекать с водородных деполяризаций. С увеличением температуры грунта возрастают скорости диффузии и растворимости продуктов коррозии. Неодинаковая температура отдельных участков металла приводит к возникновению термогальванических пар, в которых более нагретые участки являются анодами. Удельное электрическое сопротивление грунта обуславливается гранулометрическим составом, однородностью, плотностью, влажностью, солевым составом значением рН почвенного электролита.

Как правило, большая часть нефтепроводов располагается под землей. Чаще всего при эксплуатации подземных трубопроводов наблюдаются следующие виды коррозии:

- 1) коррозия в почвенном электролите;
- 2) микробиологическая коррозия;
- 3) коррозия под воздействием блуждающих токов.

Коррозия в почвенном электролите наиболее распространенный вид коррозии при эксплуатации магистральных нефтепроводов. Рассмотрим основные процессы, которые происходят в этом случае на поверхности, уложенного в грунт металлического изолированного трубопровода. Каким бы качественным не было изоляционное покрытие металл все равно имеет контакт, с влагой почвы через неплотности слоя изоляции. Влияние почвенного электролита как коррозионной среды придает процессу развития коррозии ряд особенностей: неоднородность строения и наличие пустот при полном отсутствии перемешивания твердой фазы, а также практически и жидкой фазы обуславливает электрическую гетерогенность, т.е. неоднородность почвы. Причинами такой неоднородности является различный состав почвы и разная степень увлажнения отдельных участков. Указанные причины приводят к образованию макропар дифференциальной аэрации.

Микробиологическая связана с продуктами жизнедеятельности бактерий, находящихся в почве вблизи пролегания трубопроводов, которые ускоряют действие коррозионных процессов.

Существует два вида бактерий: анаэробы и аэробы.

Анаэробы – это организмы, способные жить и развиваться при отсутствии кислорода и получающие энергию для жизнедеятельности расщеплением органических и неорганических веществ.

Аэробы – это организмы, способные жить и развиваться только при наличии свободного кислорода.

В местах скопления бактерий образуются участки с малой степенью аэрации, потенциальные аноды, а также участки с различной концентрацией солей. На отдельных участках трубопровода могут осажаться продукты

микробиологической коррозии в виде пленок, обладающие более высоким потенциалом, чем железо. Еще одним распространённым видом электрохимической коррозии подземных магистральных трубопроводов является коррозия под воздействием блуждающих токов. Источниками блуждающих токов являются: линии электрофицированных железных дорог, линии электропередач, линии катодной защиты.

1.2 Методы защиты подземных трубопроводов от коррозии

Методы защиты подземных трубопроводов от коррозии подразделяют:

а) Пассивная защита с использованием изоляционных покрытий;
б) Активная защита с использованием средств электрохимической защиты. Активные методы защиты подземного сооружения от коррозии основаны на смещении потенциала катода до потенциала анода или в более электроотрицательную область, что приводит к замедлению коррозионного процесса.

Пассивная защита заключается в изоляции металла трубопровода путем нанесения на его поверхность изоляционного покрытия. Для того, чтобы оградить поверхность трубопровода от почвенного электролита и создать разрыв электрической цепи микро- и макрокоррозионных элементов на поверхность трубопровода наносят изоляционные покрытия, обладающие диэлектрическими свойствами. Изоляционные покрытия должны удовлетворять ряду требований и иметь характеристики, отвечающие условиям работы защищаемого с их помощью трубопровода: непрерывность (сплошность), водонепроницаемость, прилипаемость (адгезия), растяжимость (дуктильность), пенетрация (глубина проникновения иглы), химическая стойкость, термостойкость, возможность механизации нанесения изоляционных покрытий, диэлектрическая сплошность.

В зависимости от условий прокладки трубопроводов, температурного интервала хранения и эксплуатации изолированных труб заводское полиэтиленовое покрытие может иметь следующие типы исполнения:

1) покрытие нормального исполнения. Предназначены для применения при температурах эксплуатации плюс 60;

2) покрытия нормального исполнения, термостойкие. Предназначены для применения при повышенных температурах эксплуатации трубопроводов плюс 80;

3) покрытия нормального исполнения, термостойкие, с повышенной морозостойкостью для применения в условиях крайнего севера;

4) покрытия специального исполнения для строительства подводных переходов и использования методов закрытой прокладки. Применяемые заводские полиэтиленовые покрытия, состоят из двух или трехслойной усиленным полимерным покрытием на основе термоусаживающихся материалов, наносимых на предварительно очищенные и нагретые до заданной температуры трубы методом напыления и экструзии. Слои прочно

связаны между собой и образуют единое защитное покрытие. Двухслойное полиэтиленовое покрытие может применяться только в качестве защитного покрытия нормального типа исполнения тип 1 для изоляции труб диаметром до 820 мм включительно с температурой эксплуатации не выше плюс 60. Трехслойное полиэтиленовое покрытие может применяться в качестве наружного покрытия труб всех 4-х типов исполнения без ограничения по диаметру труб [4].

Активная электрохимическая защита

Несмотря на многообразие применяемых защитных изоляционных покрытий и их физических и химических свойств, для всех из них является естественным снижение во времени диэлектрических параметров, что приводит к возникновению коррозионных процессов на защищаемых объектах. В большинстве случаев эти процессы могут быть заторможены, или полностью остановлены путем применения средств электрохимической защиты.

Электрохимические средства защиты обеспечивают повышение долговечности покровов и покрытий. Электрохимическая защита от коррозии подземных нефтепроводов включает в себя:

- 1) катодная защита;
- 2) протекторная защита;
- 3) электродренажная защита.

Катодная защита

Основным средством электрохимической защиты от коррозии подземных магистральных трубопроводов является катодная защита (рисунок 1).

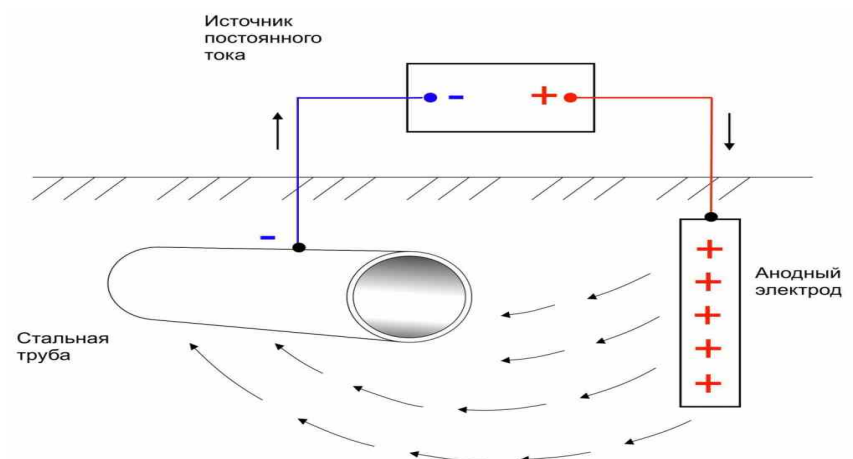


Рисунок 1 – Принципиальная схема катодной защиты

Необходимыми условиями эффективности работы катодной защиты является наличие электрического контакта посредством проводников, и электролитического контакта посредством почвенного электролита между защищаемым трубопроводом и анодным заземлением. Катодная защита – это способ защиты сооружений принудительной катодной поляризацией, с

помощью регулируемого внешнего источника постоянного тока. В качестве такого источника тока используются установки, которые представляют собой специальные выпрямители, преобразователи переменного тока промышленной частоты в постоянный ток, используемый для поляризации. Катодная защита заключается в том, что защищаемый объект отрицательно поляризуется и его потенциал сдвигается до величины, при которой значительно или полностью подавляется процесс коррозии металла. Для этого защищаемый трубопровод соединяется с отрицательным полюсом источника тока и действует в качестве катода, для образования замкнутой по току цепи положительный полюс источника тока соединяется с анодным заземлением, которое действует в качестве анода и находится в той же электролитической среде, что и защищаемое сооружение. В результате, такой поляризации растворение металла происходит на аноде, а не на трубопроводе. Катодная защита регулируется путем поддержания защитного потенциала, который измеряют между трубопроводом и специальным электродом сравнения. Этот потенциал измеряется с помощью специальной высокоомного вольтметра на контрольно-измерительных пунктах. Электрохимическая защита должна обеспечивать в течение всего срока эксплуатации непрерывную во времени катодную поляризацию трубопровода и на всей его поверхности таким образом, чтобы значения потенциалов на трубопроводе были по абсолютной величине не меньше минимального и больше максимального значений [5].

В качестве источников защитного тока в системах катодной защиты для обеспечения защитного потенциала на трубопроводе используются автоматические выпрямители, обеспечивающие работу в следующих режимах:

- автоматическое поддержание защитного потенциала;
- стабилизация выходного тока;
- ручное регулирование выходного напряжения.

Выпрямители обеспечивают совместную работу с различными комплексами телемеханики, надежное включение в работу после кратковременных и длительных исчезновений напряжения питающей сети, автоматическое повторное включение при срабатывании защиты. Контроль работы катодной защиты производится на контрольно-измерительных пунктах, располагающихся равномерно вдоль трассы нефтепровода в зоне действия средств электрохимической защиты. Конструктивно контрольно-измерительный пункт представляет собой цилиндрическую стойку с закрытой клеммной панелью. Все соединения в измерительных цепях электрохимической защиты должны выполняться медью с сечением не менее 6 мм². Контроль проводится путем измерения поляризационных потенциалов участков подземного трубопровода в местах нахождения контрольно-измерительных пунктов. Результаты измерений заносятся в ведомость или протокол измерений потенциалов, полевой журнал, и журналы эксплуатации установок. Поляризационный потенциал – это потенциал трубопровода без омической составляющей, в которую входят сопротивление грунта,

сопротивление поляризации анода и катода. Для измерения поляризационного потенциала измеритель потенциалов подключается к трубопроводу, датчику потенциала и электроду сравнения (рисунок 2). Также ниже представлена схема измерения поляризационного потенциала.

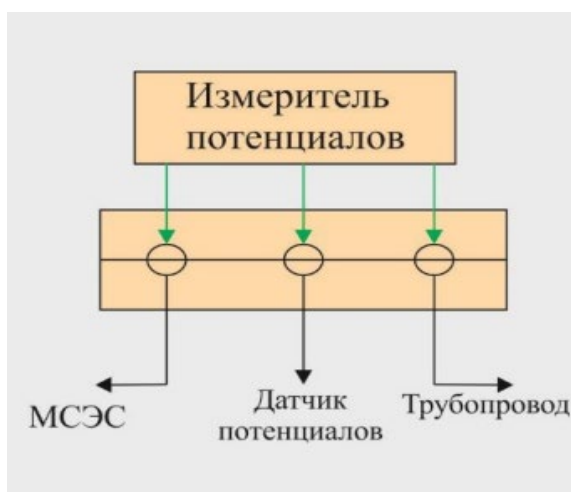


Рисунок 2 – Схема измерения потенциалов

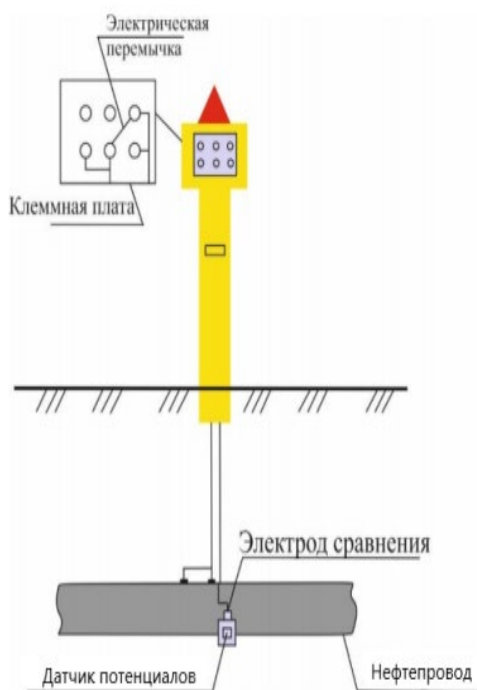


Рисунок 3 – Схема подключения КИП для измерения поляризационного потенциала

Величина защитного тока от источника должна обеспечивать требуемый диапазон значений поляризационных потенциалов на всем защищаемом участке нефтепровода. Катодная защита используется совместно с изоляционными покрытиями, нанесенными на наружную

поверхность защищаемого трубопровода. Хорошее изоляционное покрытие уменьшает значение защитного тока на несколько порядков. Но по мере разрушения покрытия и оголения металла защитный ток необходимо увеличивать для обеспечения защиты сооружения

В системах катодной защиты в качестве растворимых анодов используют следующие основные типы заземлений:

- а) поверхностные заземления;
- б) глубинные заземления;
- в) протяженные заземления.

Поверхностные заземления применяют в грунтах с удельным сопротивлением до 100 Ом·м, глубинные до 250 Ом·м, протяженные свыше 250 Ом·м.

Протекторная защита

Установки протекторной защиты трубопроводов от почвенной коррозии применяются в районах, где отсутствуют источники электроэнергии, а также для защиты участков нефтепроводов небольшой протяженности. Принцип работы протекторной защиты состоит в том, что при замыкании двух электродов трубопровода и протектора, помещенных в электролитическую среду грунта между ними возникает разность потенциалов, обусловленная различными потенциалами материалов стального трубопровода и протектора из магния, цинка и алюминия (рисунок 4). При этом движение электронов направлено от электрода с более отрицательным электрохимическим потенциалом (анода) к электроду с менее отрицательным электрохимическим потенциалом (катода) через контрольно-измерительный пункт. Соответственно ток коррозии направляется с трубопровода к протекторам, с которых стекает в грунт.

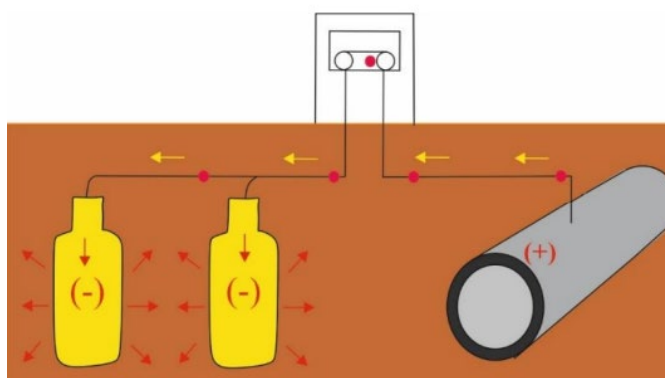


Рисунок 4 – Принципиальная схема протекторной защиты

Для эффективности действия протекторной защиты применяются активаторы, состоящие из смеси солей, в которые помещают анод с целью уменьшения сопротивления растеканию, что обеспечивает при прочих равных условиях увеличение тока защиты и протяженность зоны защиты. Цепь тока защиты замыкается через электролитическую среду, причем, обязательным условием является переход с анода в электролит ионов

металла, т.е. разрушение металла протектора. Для изготовления протекторов могут использоваться магний, алюминий и цинк. В чистом нелегированном виде, эти материалы не используются, т.к. магний имеет сравнительно низкую отдачу тока. А алюминий и цинк склонны к пассивации, т.е. образованию на поверхности окисной пленки. Введение добавок или легирование позволяет получить сплавы с более отрицательными, чем у основного металла потенциалами, оставаться активными, равномерно корродировать и не становиться пассивными в электролитической среде. Конструктивное исполнение и внешний вид одного из применяемых магниевых протекторов показано на рисунке 5. Он представляет собой анод из магниевых сплава, с порошкообразным активатором, упакованный в хлопчатобумажный мешок.

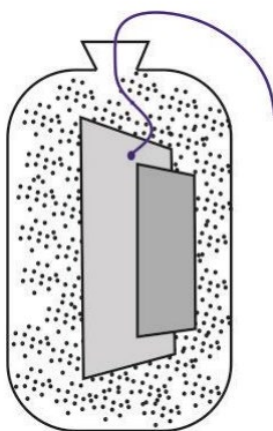


Рисунок 5 – Конструктивное исполнение магниевых протекторов

В состав установок протекторной защиты входят: одиночные протекторы и их группы, протяженные протекторы и их группы, соединительные провода и кабели, контрольно-измерительные пункты, блоки регулирования защиты.

Защита от блуждающих токов

Основным средством защиты от блуждающих токов является электродренажная защита. Она заключается в отводе блуждающих токов из защищаемого сооружения к источнику этих токов посредством электродренажного соединения (рисунок 6). При отсутствии электродренажного соединения току стекающему с нефтепровода в анодной зоне приходится преодолевать довольно большое переходное сопротивление между нефтепроводом и рельсами.

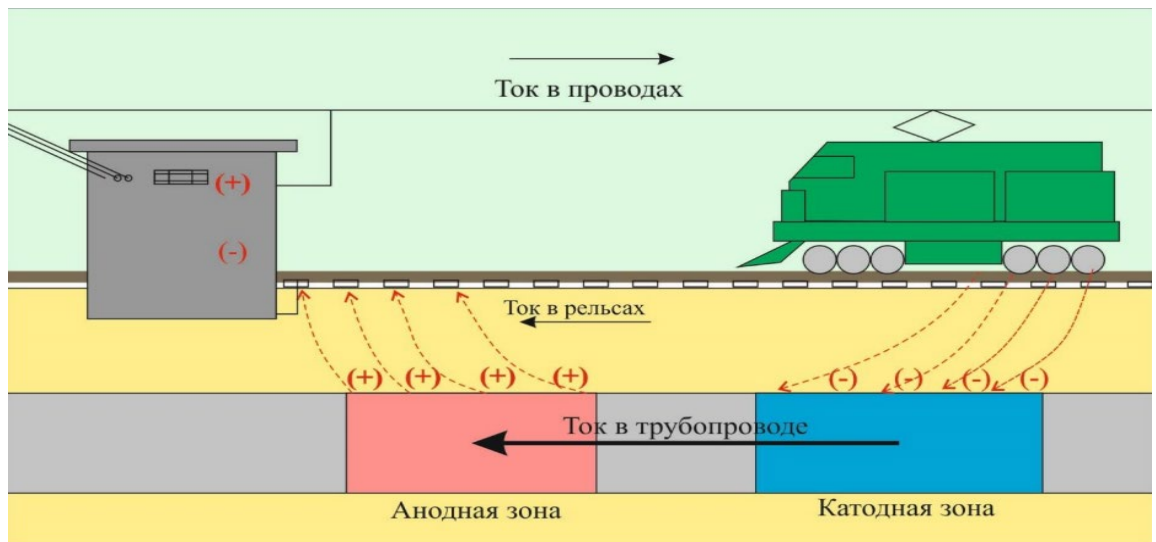


Рисунок 6 – Принципиальная схема электродренажной защиты

Переходное сопротивление изменяется в зависимости от влажности и температуры в течение года. В результате этих изменений изменяется, и величина тока с рельсов в нефтепровод и обратно и интенсивность коррозии уменьшается. Если электрически соединить рельсы и трубопровод в анодной зоне, то по нему протечет ток. Это соединение называется дренажным. И ток дренажа будет зависеть от разности потенциалов трубопровода и рельса, а также от величины дренажного сопротивления, т.к. переходное сопротивление «трубопровод-рельс» шунтируются сопротивлением дренажа. При этом, электроны,двигающиеся противоположно направлению дренажного тока, с рельса натекая, на трубопровод по электрической цепи смещает потенциал трубопровода на анодной зоне с плюса в отрицательную область. В результате большая часть тока стекающего с трубопровода будет протекать по дренажному соединению, а не стекать в почву, что приведет к резкому снижению интенсивности коррозии. Все станции дренажной защиты автоматизированы. По принципу регулирования их подразделяют на станции:

- а) с автоматическим регулированием направления тока;
- б) с автоматическим регулированием потенциала.

К установкам с автоматическим регулированием направления тока относятся: поляризованные (электромагнитные и вентильные) и усиленные. В схемах поляризованных электромагнитных дренажных установок используют электромагнитное реле и контактеры для включения установок при прямых токах и отключении их при обратных. Примером таких установок является универсальная поляризованная дренажная установка УПДУ 57 (рисунок 7).

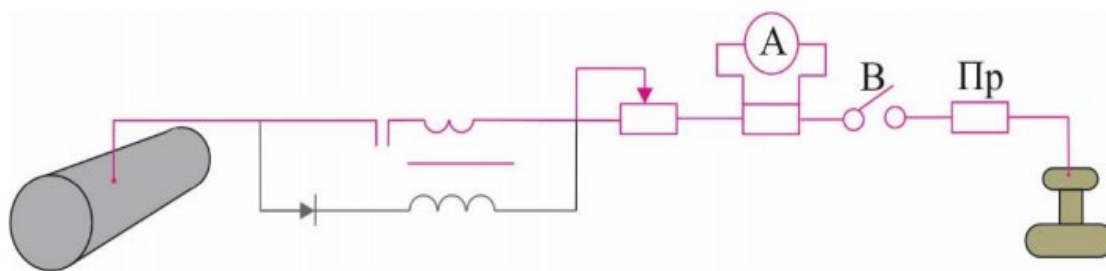


Рисунок 7 – Схема электромагнитной установки УПДУ-57

Для автоматического регулирования потенциала трубопровода в зоне действия блуждающих токов применяют усиленные дренажные установки. Поддерживающие защитный потенциал трубопровода на заданном уровне в анодном и знакопеременных полях блуждающих токов. По принципу действия работа таких установок похожа на работу автоматических станций катодной защиты.

В состав систем дренажной защиты входят: установка дренажной защиты, соединительные провода и кабели, контрольно-измерительные пункты, блоки регулирования защиты.

Дренажные установки следует подключать к рельсовой цепи только через отсасывающие фидеры и средние точки путевых дросселей. Среднечасовой ток всех установок системы дренажной защиты находящихся в зоне действия одной тяговой подстанции электрофицированной железной дороги не должен превышать 20 процент общей среднечасовой токовой нагрузки этой подстанции. В случае, изменения режима работы источника блуждающего тока необходимо провести обследование трубопровода в зоне их влияния и при необходимости разработать и осуществить меры по реконструкции системы электрохимической защиты [6].

1.3 Виды анодных заземлителей

Принципиально заземлитель может быть изготовлен из любого токопроводящего материала (металл, графит и т. п.). При выборе материалов для анодов в установках катодной защиты часто останавливаются на наиболее простом и доступном материале – стальном ломе.

1) Анодные заземлители, изготовленные из самого дешевого материала (стальной лом), оказываются очень дороги по той причине, что требуется их частая замена. Высокая скорость растворения стальных анодов является основным недостатком, препятствующим широкому применению стали в качестве анодного материала для системы катодной защиты. Поэтому стальной лом для анодных заземлителей используют в том случае, когда он не дефицитен, а частая замена не представляет трудностей.

Срок службы анодных заземлителей увеличивается, если применяются малорастворимые металлы. Для снижения потерь металла анодные

заземлители устанавливают в активатор - неагрессивные электропроводящие засыпки из измельченной и утрамбованной коксовой и угольной крошки. В некоторых случаях применяют отходы электродного производства - графитовую крошку и шлак. При применении коксовой засыпки изменяется электрохимический механизм работы анодного заземлителя. Благодаря засыпке снижается переходное сопротивление анод – грунт, облегчается отвод газов, обеспечивается более равномерная работа всей поверхности анода. Для того чтобы анод был полностью предохранен от разрушения, свойства засыпки необходимо тщательно контролировать, она должна иметь низкое удельное сопротивление. Если сопротивление больше необходимой величины, в нее добавляют графит. К числу современных анодов, применяемых для катодной защиты с наложенным током, относят ферросилидовые, графитовые, коксографитовые, а также аноды из алюминия, платины, платинированного титана, тантала и др. Ниже дается краткое описание большинства перечисленных анодов с указанием их преимуществ и недостатков, а также условий, благоприятствующих их применению. При работе коксовой мелочи в качестве наполнителя заземлителя влага из окружающего грунта проникает между зерен коксовой мелочи и заполняет свободное пространство между электродом и грунтом. Благодаря этому дополнительно включается ионная проводимость влаги между электродом и грунтом, а общее сопротивление заземлителя снижается.

Графитовые аноды, длительно применяющиеся в электрохимической промышленности, применяются и в системах катодной защиты. Графит является стабильной модификацией углерода, и конечным продуктом его превращений под действием электрохимического процесса является двуокись углерода. Если весь ток, накладываемый при катодной защите на графитовый анод, будет образовывать углекислый газ, скорость разрушения графитового анода составит 1 кг/(А·год). Одной из причин разрушения графита является кислород, который освобождается на его поверхности. Однако при высокой концентрации хлора в реальных электролитах (грунтовых), замедляется процесс разрушения графита кислородом, так как выделение хлора происходит гораздо быстрее, нежели кислорода. Поэтому аноды из графита весьма хорошо ведут себя в хлорсодержащих средах (например, морской воде). Графитовые аноды обычно устанавливают в засыпку из коксовой мелочи, и при этом собственно анодом становится коксовая засыпка. Сопротивление растеканию тока уменьшается, а кислород, освобожденный на аноде, адсорбируется коксом. Таким образом, графит будет защищен от окисления. К недостаткам графитированных анодов относят их низкую механическую прочность и хрупкость. Углеродистые электроды обычно имеют пористую структуру. В порах могут скапливаться выделяющиеся газы и, кроме того, по ним может проникать влага к металлическому токовводу, подвергая его коррозии. Поэтому с целью снижения скорости разрушения углеграфитовых электродов их пропитывают маслами или смолами.

В 1954 г. был предложен и испытан сплав ферросилида. В сообщениях

об опыте использования ферросилидовых анодов отмечено, что ферросилид может быть применен для анодов при обычных плотностях тока с очень небольшими потерями металла. Потери металла (ферросилида) находятся в пределах 0,08-0,70 кг/(А·год). Своей стойкостью к электрохимическому разрушению ферросилид обязан образованию на поверхности плотно сцепляющейся, проводящей пленки SiO_2 , его способности (в отличие от графита) лучше работать в условиях преимущественного выделения кислорода на аноде. При работе таких заземлителей (АКО-2М, АЗМ-2) на их поверхности образуется коричневая пленка, а в некоторых местах образуется точечная коррозия (при этом питтинги иногда достигают в диаметре 25 мм), что приводит к выходу из строя заземлителя. Кроме того, с увеличением плотности анодного тока повышается интенсивность растворения ферросилидовых анодов.

Применение свинцовых сплавов в качестве анодов катодной защиты известно с 1960-х гг. Для этих целей использованы следующие сплавы: 1) свинец, 12 процент сурьмы, 14 процент серебра; 2) свинец, 28 процент мышьяка; 3) свинец, 6,7 процент сурьмы, 3 процент олова, 0,98 процент серебра. Добавка небольшого количества серебра делает такие сплавы "малорастворимыми". Этот эффект объясняется образованием на поверхности анода плотного хорошо проводящего оксидного слоя PbO_2 , который и является токоотдающей поверхностью. При отсутствии легирующих добавок в виде серебра этот слой становится пористым и в работу включается нижележащий металлический свинец, который быстро растворяется. Электрохимический эквивалент анодов из сплавов свинца в грунте составляет порядка 0,4 - 0,6 кг/(А·год). С электрохимической точки зрения, их преимуществами являются: низкая скорость разрушения, возможность применения высоких плотностей тока, хорошая электрическая проводимость сплава. К недостаткам следует отнести то, что эти аноды необходимо устанавливать в среде с большим содержанием хлора, что не всегда выполнимо для подземных трубопроводов.

Перспективным материалом для анодных заземлителей является магнетит - сплав на основе оксидов железа. Изделия из магнетита отливают при высокой температуре со специальными добавками. Литой электрод гладкий, твердый и плотный как стекло. Электрохимический эквивалент магнетита составляет 0,02 кг/(А·год). Анодные заземлители из магнетита проходят промышленную апробацию. В настоящее время имеется опыт катодной защиты с платинированными титановыми анодами трубчатой формы с медным сердечником. Изготавливают такие аноды диаметром от 3,0 до 25,6 мм, покрытыми платиной. Несмотря на ряд преимуществ, сплавов в качестве анодов, они имеют такие недостатки, как хрупкость и ломкость, высокая стоимость. Электрохимический эквивалент радованных титановых анодов составляет порядка 0,08 – 0,15 кг/(А·год).

Платинированные танталовые аноды применимы при большом рабочем напряжении в системах катодной защиты, где возможно осуществить автоматическое регулирование потенциала. Платину относят к наиболее

химически стойким металлам, платинированные аноды можно применять при плотности анодного тока 2000-3000 А/м². Однако высокой стоимостью и дефицитностью платины ограничивается возможность ее применения в чистом виде. Поэтому она применяется либо в виде тонкого покрытия на подложке из пассивирующихся металлов титана, тантала или ниобия, либо в виде проволоки или сетки, укрепленных в основе из диэлектрика. В ходе длительных испытаний при плотностях тока от 4,4 до 40 А/м² титан-никелевых сплавов для анодов, применяемых в системах катодной защиты, расход материала составил от 1 до 10 г/(А·год). Это были бы хорошие результаты, если бы не наблюдался процесс питтингообразования. А в случае выделения на поверхности анода кислорода или хлора скорость саморастворения увеличивается в результате подкисления приэлектродного слоя, пропорционально плотности тока. Поэтому литые титан - никелевые аноды не могут обеспечить надежную работу катодной защиты.

За рубежом и в Казахстане для анодных заземлителей используют электропроводную резину. Внутри резинового тела, представляющего собой гибкий электрод диаметром от 20 до 50 мм, проходит непрерывный токоотвод в виде многопроволочной медной или омедненной стальной жилы. Кроме того, для анодных заземлителей применяют малорастворимые материалы на основе токопроводящих эластомеров и полимеров. Электрохимический эквивалент этих конструкций находится в пределах 0,5 кг/(А·год). Поставляют их в бобинах длиной от 500 до 600м в зависимости от диаметра. Анодные заземлители из этих материалов проходят промышленную апробацию. Планируют их использовать для горизонтальных и протяженных конструкций. Из применяемых в настоящее время малорастворимых материалов (графит, ферросилид, платинированный титан и т. д.) ни один в полной мере не удовлетворяет практическим запросам, что обуславливает продолжение поиска новых материалов, среди которых в последнее время уделяется большое внимание композиционным материалам.

В последние годы начали применять электроды из прессованного графитированного порошка на связующем из фенолоформальдегидной смолы. Этот материал известен под названием графитопласт типа АТМ-1. Графитопласт обладает низкой механической прочностью, однако он хорошо обрабатывается. Имеется промышленная база для производства в количестве, удовлетворяющем потребности нефтяной промышленности. Скорость анодного растворения графитопласта составляет 0,5-1,0 кг/(А·год). Изготовлением графитопластовых электродов в виде полых цилиндров большого диаметра в некоторой степени компенсируют низкую прочность материала. Помещая токовводы и соединительные кабели в полость трубчатого электрода, где электрическое поле отсутствует, можно надежно предохранить эти элементы от разрушающего действия анодного тока. Анодный заземлитель в коксобетонной оболочке является композиционным материалом, состоящим из коксовой мелочи, цементного камня и жидкой фазы, которая представляет собой водный раствор электролитов. Изготавливают анодные заземлители в коксобитумной оболочке. В качестве

углеродсодержащего наполнителя используют коксовую мелочь, а в качестве связующего берут битумно - резиновую мастику. Анодные заземлители изготавливают методом прессования при давлении не менее 30 МПа. Удельное электрическое сопротивление материала оболочки не превышает 0,2 Ом·м. Для повышения механической прочности и долговечности иногда рекомендуют в оболочку добавлять различные полимеры. Находят применение для стальных анодов обмазки, состоящие из смеси полупроводникового окисла и стекла. Полученное покрытие обладает достаточной стойкостью в средах, содержащих ионы хлора. При работе таких анодных заземлителей на границе электрод-оболочка, за счет выхода на поверхность выделяющихся газов, оболочка разрывается, и заземлители быстро выходят из строя. В качестве протяженных анодных заземлителей можно использовать заземлители из электропроводящего эластомера типа ЭРП, «Райхем», «AnodeFlex» и др. Заземлители представляют собой гибкий электрод из электропроводящего эластомера диаметром от 10 до 50 мм, по оси которого расположен непрерывный токоввод в виде многопроволочной медной или омедненной стальной жилы. Протяженные заземлители применяют для создания как локальных, так и протяженных заземлений в любых грунтах и климатических условиях. Заземлители можно укладывать горизонтально в траншеи или опускать в вертикальные скважины с применением засыпки из коксовой мелочи. Контактные соединения осуществляют в специальных колонках, что позволяет полностью исключить какие-либо соединения в грунте и повысить надежность заземления. Каменноугольный пек является лучшим связующим для брикетирования коксовой мелочи. Он представляет собой аморфную массу тяжелых фракций после отгонки из смолы масел и нафталина. Каменноугольный пек характеризуется присутствием значительного количества парамагнитных центров, которые имеют все шансы осуществлять активное содействие в образовании химических связей между связующими материалами и твердым наполнителем. По сути, на сегодняшний день единственный в мировой практике связующий материал для углеродистой продукции. В связи с этим естественно стремление ученых изыскать легкодоступные заменители каменноугольного пека. Нефтяной пек имеет значительными цементирующими качествами, однако существенно уступает каменноугольному, но он менее канцерогенен.

2) Глубинные анодные заземлители. В настоящее время наряду с анодными заземлителями поверхностного типа получили широкое применение глубинные анодные заземлители, применение которых во многих случаях позволяет свести до минимума взаимное влияние защищенного от коррозии сооружения на незащищенное. Материалами для сооружения глубинных анодных заземлителей служат те же материалы, что и для поверхностных. Применение того или иного материала для глубинного анодного заземлителя вызывает необходимость бурения скважин различного диаметра, а также влияет на выбор необходимой длины его рабочей части.

С учетом геологического строения земли в месте установки

заземлителей и условиями монтажа их можно разделить на четыре группы:

а) заземлители в обсаженной скважине: К этой группе, относят заземлители, которые устанавливаются в неустойчивых горных породах;

б) заземлители в необсаженной скважине. Если позволяют горные породы, то глубинные заземлители устанавливают в необсаженных скважинах. Скважину проводят на проектную глубину. Спускают аноды и засыпают коксовой мелочью до глубины 10 - 15 м от поверхности грунта. Верхнюю часть засыпают гравием. Снизу и сверху делают кабельные выводы на поверхность. Такая конструкция значительно удалена от подземных трубопроводов.

в) комбинированные заземлители: Когда верхние породы грунта в скважине неустойчивы, устанавливают комбинированные заземлители. Скважину проводят на глубину 5 - 10 м, обсаживают колонной. Далее проводку скважины осуществляют меньшим диаметром на проектную глубину. В скважину спускают заземлитель конструкции "труба в трубе" и засыпают коксовой мелочью, а затем гравием. Верхнюю часть внутренней трубы заземлителя (10 - 15 м) изолируют слоем весьма усиленной изоляции.

Глубинные анодные заземлители устанавливают в заранее пробуренную скважину на глубину до 100 метров. Для выполнения этих работ требуется привлекать специализированные организации, имеющие буровое оборудование. Можно размещать анодные заземлители в предварительно забитой трубе. Забивку труб выполняют со сваебойного агрегата на глубину до 40 м методом наращивания труб. Такой способ установки анодного заземления особенно выгодно применять в условиях капитального ремонта в застроенной части, так как нарушение благоустройства сводится к минимуму

Заменяемые заземлители. Применение заменяемых конструкций дает экономический эффект за счет уменьшения глубины скважин. Скважину проводят на глубину 30 - 40 м в зависимости от уровня грунтовых вод и обсаживают пластмассовой трубой диаметром 200 мм. Начиная с уровня грунтовых вод и до забоя в пластмассовой трубе сверлят отверстия диаметром 8 мм на расстоянии 200 мм по высоте. Заземлитель состоит из трех секций длиной по 6 м. Токоввод выполнен из круглой стали диаметром 30 мм. В основании первой секции запрессовывают стальной круг диаметром 170 мм. Затем на токоввод надевают диски диаметром 160 мм из прессованных стальных отходов. После этого первую секцию опускают в скважину. Секции между собой соединяют с помощью резьбового соединения и сваривают. Последнюю секцию соединяют с катодной станцией, предварительно на нее надевают контрольную пластмассовую трубку с ограничителем хода в 3 м. К нижней части контрольной трубки крепят стальной диск. После сработки 3 м анода контрольную трубку извлекают из скважины. На токоввод нанизывают 3 м стальных дисков, надевают контрольную трубку и опускают в скважину. Способы установки анодных заземлителей. Для нормальной работы анодного заземлителя необходимо, чтобы он был установлен ниже глубины промерзания или

высыхания и находился на расстоянии не менее 25 м от подземных коммуникаций. Наиболее простой способ установки поверхностных заземлителей — горизонтальный. В этом случае анодный заземлитель размещают на дне траншеи ниже глубины промерзания. Для размещения горизонтального анодного заземлителя необходимо значительная площадь, свободная от застройки, и в условиях большой глубины промерзания доводится производить большой объем земляных работ. Поэтому предложено устанавливать анодный заземлитель вертикально в пробуренную на глубину 4 м скважину. Между собой заземлители соединяют изолированной шиной, прокладываемой в траншее на глубине 0,8 - 1,0 м. Для установки анодного заземления на глубину более 4 м требуется специальное буровое оборудование.

2 Текущий анализ проблемы исследования

2.1 Влияние негативных факторов на эффективность защиты нефтепроводов от коррозии

Причины снижения эффективности УКЗ нефтепроводов:

- 1) близкое расположение сооружений катодной защиты из-за ограничения места установки и монтажа оборудования;
- 2) использование большого количества анодных заземлителей;
- 3) недостаточный контроль за качеством строительно-монтажных работ;
- 4) отсутствие или ошибки при расчете по определению оптимальных Параметров УКЗ;
- 5) отсутствие анализа влияния анодных заземлителей друг на друга.

Главной причиной снижения эффективности работы УКЗ является появление эффекта экранирования электрического тока анодных заземлителей. Вследствие чего, условие работы данного сооружения катодной установки приводит к неэффективности защиты от коррозии. Данная ситуация приводит компанию занимающуюся транспортировкой нефти к убыткам. Так как, увеличивается потребление электрической энергии УКЗ, увеличивается финансовые затраты, связанные с диагностикой и с утечкой нефти впоследствии коррозии вызванной из-за недостаточной защиты, увеличивается затраты на мероприятия связанные с разработкой мер для повышений коррозионной защиты нефтепроводов.

Активная защита при почвенной коррозии осуществляется катодной поляризацией. Система катодной защиты наложенным током обеспечивает проектируемые сооружения достаточным поляризационным потенциалом. При осуществлении катодной поляризации нефтепроводов выдерживают средние значения минимального (-0.85В) и максимального (-1.15В) защитного потенциала при помощи катодных установок. При изменении этих значений, например, при увеличении максимального защитного потенциала, выделяется водород. Выделенный газообразный водород собирается в порах изоляции, образуя микропузырьки, которые при взрывах могут в дальнейшем вызвать разрушение изоляции.

2.2 Обзор зарубежных рекомендации и методов повышения эффективности заземляющих устройств, для защиты от коррозии

Повышение эксплуатационных свойств нефтеперекачивающего магистрального трубопровода путем применения метода катодной защиты от коррозии становится все более востребованным, а решение данного вопроса все более актуальной. В настоящее время состояние и развитие в области разработки мероприятий и способов по снижению и ликвидации эффекта экранирования между анодными заземлителями в системе катодной защиты показал необходимость углубленного изучения данного вопроса с

использованием опыта и рекомендации зарубежных стран по проектированию и эксплуатации сооружений катодной защиты нефтепроводов.

В результате обзора и анализа зарубежных источников в области коррозионной защиты для повышения эффективности заземляющих устройств, были сформулированы следующие Association of Corrosion Engineers (NACE): положения национальной ассоциации инженеров-коррозионистов Nation

1) В случае применения катодной защиты от коррозии для сооружения нефтепроводов, которая связана с электрическим оборудованием, для обеспечения требований электробезопасности необходимо использовать только заземлители с цинковым покрытием, цинк по отношению стали является протектором, цинк не корродирует до полного вымывания с защитной зоны. В альтернативном случае рекомендуется установка протекторной защиты.

2) В случае снижения эффективной защиты катодной установки, вызванной неравномерной распределении защитного катодного тока и негативного воздействия внешних систем и сооружений, рекомендуется установка поляризационных ячеек.

3) На нефтеперекачивающих и компрессорных станциях в местах пересечения трубопроводных систем, контуров защитных заземлений необходимо установить электроизолирующие вставки (рисунок 9) [7].



Рисунок 9 – Электроизолирующая вставка

При анализе основных положений национальных стандартов крупнейшей нефтяной компании Саудовской Аравии - Saudi Aramco Engineering Standard (SAES) – в которых рассматриваются вопросы катодной защиты нефтепроводных сооружений и систем заземления. Согласно основным положениям и требованиям рекомендуется использование электроизолирующих вставок, с целью ограничения гальванической связи между объектами трубопроводной системы и металлическими объектами, которые под катодной защитой.

К недостаткам электроизолирующей вставки следующее: высокая стоимость электроизолирующей вставки и ее монтаж, более низкая

надежность по отношению к трубе, вызванная сложностью конструкции и большим количеством элементов, низкая стойкость к понижению атмосферного давления, а также возможность применения электроизолирующих вставок только при новом строительстве или при реконструкции эксплуатируемых сооружений нефтеперекачивающих трубопроводов. Исходя из стандарта, рекомендуется использование дополнительных установок катодной защиты на насосно-компрессорных станциях, если на отдельных участках наблюдается снижение эффективности защиты от коррозии, необходимо предусматривать дополнительные анодные заземления либо использовать протяженные анодные заземлители. Анализ требований в части обеспечения требования электробезопасности путем устройства систем защитных заземлений позволяет отметить следующее:

1) подземные сооружения и объекты, выполненные из меди (защитные заземления, проводники), оказывают негативное влияние на эффективность катодной защиты;

2) в зонах, в которых расположены катодно защищаемые трубопроводы, рекомендуется использовать оцинкованные стальные заземлители;

3) все вертикальные и горизонтальные заземлители должны быть объединены в единую систему защитного заземления.

Согласно положениям европейских нормативных документов при электрохимической защите сложных конструкций наличие внешних электродов, которые могут выступать как катод, приводит к увеличению потребления защитного тока, в связи с этим должны применяться оцинкованные заземляющие устройства, которые потребляют меньше защитного тока, чем медь, нержавеющая и углеродистая сталь. На практике данный способ применяется наиболее часто для снижения влияния защитных заземлений на работу катодной защиты, однако недостатком такого решения является его низкая эффективность, поскольку вследствие ряда причин применяют не чистые металлы. В настоящее время используют графитопластовые заземлители, для обеспечения эффективной катодной защиты подземных сооружений.

2.3 Анализ и обзор мероприятий, направленных на снижение эффекта экранирования катодной защиты

На этапе проектирования системы ЭХЗ необходимо учитывать, что контур защитного заземления либо его отдельные элементы не должны находиться между защищаемым сооружением и анодными заземлителями. Кроме того, при проектировании или реконструкции системы ЭХЗ с целью эффекта экранирования защитных заземлений катодной защиты от коррозии возможно использование следующих решений:

1) сокращение количества заземлителей;

2) применение эластомерных материалов;

3) установка заземлителей на оптимальных расстояниях друг от друга.

Отметим, что сокращение заземлителей в системе катодной защиты существенно сократит сопротивление растекания электрического тока. Как показывает анализ существующих технических решений, направленных на сведение к минимуму или устранению негативного влияния эффекта экранирования защитных заземлений на эффективность ЭХЗ, все рассмотренные в рамках данной работы мероприятия имеют как преимущества, так и недостатки. В связи с этим, выбор того или иного способа должен основываться на предварительной оценке степени влияния эффекта экранирования защитных заземлений, позволяющей выявить наиболее значимые факторы, имеющие начальные значения в условиях проектирования.

С целью минимизации данного влияния в диссертации предложена реконструкция системы УКЗ и защитных заземлений, суть состоит в том, чтобы рассчитать параметры и определить оптимальное расстояние между заземлителями. Стоит также отметить, что при рассмотрении эффекта экранирования, как исследование диссертации учитывалось следующее:

- тип, материал и расположение защитного заземления относительно защищаемого сооружения;

- величина потенциала «труба – земля» при наличии влияния защитного заземления;

- влияние количества и мест расположения точек подключения к трубопроводу станций катодной защиты [8].

На основании проведенного обзора и анализа требований действующей зарубежной нормативной документации разработана классификация, позволяющая систематизировать основные направления повышения эффективности в условиях проектирования. Обзор существующих мероприятий, их преимущества и недостатки. Наличие, которых позволяет сделать вывод о необходимости решения задач и моделирование распределения потенциала и растекания электрического тока и построении графика изменения сопротивления растекания тока, в зависимости от расположения электрода заземлителя друг от друга с целью повышения эффективности электрохимической защиты нефтеперекачивающих трубопроводов от коррозии.

3 Сведения о объекте исследования

3.1 Краткая характеристика объекта исследования

Магистральный нефтепровод «Актау-Жетыбай-Узень», с протяженностью 150 км соединяет бузачинский нефтепровод с городом Актау в Мангистауской области. Смонтирован из стальных труб маркой 17Г2СФ с диаметром 610 мм и с толщиной 7мм, глубина заложения нефтепровода составляет 1,2м. Защита нефтепровода от почвенной коррозии выполнен усиленным двухслойным полимерным покрытием на основе термоусаживающихся материалов с сопротивлением $30000 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$ [9].

На рисунке 10 представлена схема расположения установки катодной защиты нефтепровода

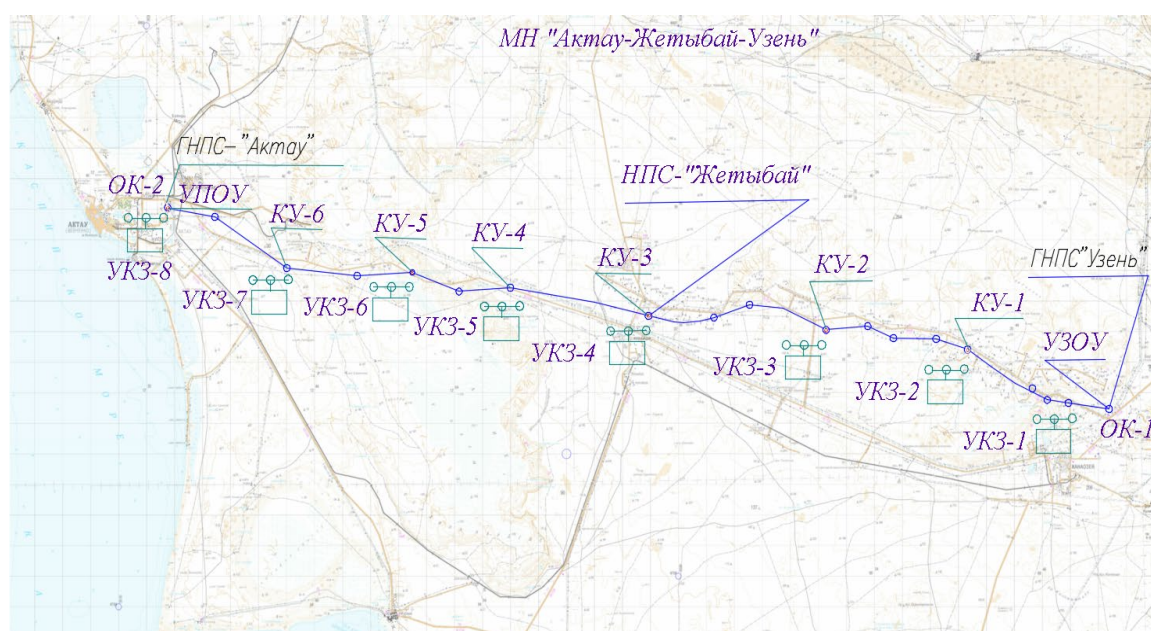


Рисунок 10 – Схема расположения установки катодной защиты на трассе магистрального нефтепровода «Актау-Жетыбай-Узень»

3.2 Сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях трассы МН «Актау-Жетыбай-Узень»

В геоморфологическом отношении трасса нефтепровода проходит по структурному плато, расположенному в пределах Южно-Мангышлакского прогиба.

Абсолютные отметки поверхности по трассе нефтепровода $85,13 \div 121,17$ м, по трассе нефтепровода плоская поверхность плато осложнена впадиной Карагие на участке прохождения отметки $-26,03 \div -14,34$ м.

По расчетным характеристикам территория относится к IV-Г строительного-климатического подрайону.

По данным инженерно-геологических исследований и лабораторных определений физико-механических свойств грунтов по трассе выделено 9 инженерно-геологических элементов. Характеристики выделенных элементов приводятся по лабораторным данным.

ИГЭ-1 – супесь песчанистая, просадочная, коричневого цвета, твердая, с включением мелких обломков известняка и гальки.

ИГЭ-2 - песок пылеватый светло – желтого цвета, средней плотности сложения, средnezасоленный, местами с включением карбонатных конкреции до 10 %.

ИГЭ-3 – известняк-ракушечник очень низкой прочности, сильно выветрелый, светло-желтого цвета, трещиноватый, загипсованный, засоленный, с тонкими прослоями, мергеля суглинистого и известняка низкой прочности.

ИГЭ-4 – песок средней крупности ($d_{pQ_{II-III}}$) светло-желтый маловлажный плотный и средней плотности сложения средnezасоленный с включением карбонатных конкреции до 10 %, полимиктовый....

ИГЭ-5 -суглинок легкий песчанистый, коричневого цвета, полутвердый, с включением мелких обломков известняка и гальки, засоленный, загипсованный.

ИГЭ-6 - насыпной грунт из суглинка, гравия с включением строительного и бытового мусора до 20%, слежавшийся слабо уплотненный, Расчетное сопротивление $R_0=100$ кПа.

ИГЭ-7 - гравийно-галечный грунт с супесчаным заполнителем с содержанием валунов до 30%.

ИГЭ-8 - скальные грунты, средней прочности (песчаники, аргеллиты, алевролиты), сильно трещиноватые, выветрелые, перекрытый сверху ПРС, мощностью 0,1м.

ИГЭ-9 - Щебенистый грунт, средней прочности, на супесчаном заполнителе до 10%, с включением дресвы до 20%.

Грунты обладают высокой коррозионной активностью к углеродистой стали, величина потери массы стального образца 3,3 г/сут.

Грунты засолены (ГОСТ 25100-2011).

По содержанию сульфатов в пересчете на ионы SO_4^{2-} (1200-15550 мг/кг) грунты сильноагрессивные к бетонам на портландцементе и от неагрессивных до сильноагрессивных к бетонам на шлакопортландцементе, сульфатостойком виде цемента (том V книга 1).

По содержанию хлоридов в пересчете на ионы Cl^- (110÷8520 мг/кг) грунты среднеагрессивные к бетонам на всех видах цемента (том V книга 1).

Качественный прогноз потенциальной подтопляемости: территория является потенциально не подтопляемой. Грунтовые воды не вскрыты.

Максимальная глубина проникновения нулевой изотермы в грунт – 100 см.

Сейсмичность площадок строительства 7 баллов с учетом свойств грунтов.

4 Обоснование и расчет устройств катодной защиты

4.1 Расчет катодной защиты и анодного заземлителя

Исходные данные:

Диаметр нефтепровода – 610 мм;

Толщина стенки нефтепровода – 7 мм;

Удельное сопротивление грунта – 50 Ом·м;

Глубина залегания трубопровода – 1,2 м;

Сопротивление изоляции – 300000 Ом·м²;

Расстояние между нефтепроводом и анодным заземлением – 150 м;

Расстояние от уровня земли до середины электрода – 1,7 м;

Диаметр электрода – 0,1 м;

Длина электрода – 1 м;

Масса А.З. – 19 кг.

Продольное сопротивление нефтепровода, Ом/м, вычисляется по формуле:

$$R_T = R'_T \cdot [1 + \beta(t^0 - 20)], \quad (1)$$

где R'_T – продольное сопротивление при 20⁰ С, Ом/м;
 $\beta = 0,0093$ – температурный коэффициент электрического сопротивления стали при 20⁰ С, 1/⁰С;
 $t^0 = +45$ – максимальная эксплуатационная температура, ⁰С.

$$R'_T = \frac{\rho_T}{\pi(D-\delta) \cdot \delta} = \frac{0,245 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot (610-7) \cdot 7} = 1,8 \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

где, $\rho_T = 0,245$ – для стали, Ом·мм²/м;

$$R_T = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot [1 + 0,0093(45 - 20)] = 2,3 \cdot 10^{-5}$$

Переходное сопротивление «труба-земля», Ом·м²:

$$R_n(t) = R_p + R_{из0} e^{-\gamma \cdot t}, \quad (3)$$

$$R_p = \frac{\rho_r \cdot D_m}{2} \cdot \ln \frac{0,4 \cdot R_p}{D_m^2 \cdot H_m \cdot R_m} \quad (4)$$

При ρ_r меньше или равном 50 (Ом·м), R_p принимается = 0
 $R_p = 0$ (Ом·м²);
 $R_{из0} = 30000$ (Ом·м²) – для полимерного покрытия усиленного типа;
 $\gamma = 0,06$ (1/год) – коэффициент, характеризующий скорость изменения сопротивления изоляции во времени;

На начальный срок эксплуатации нефтепровода, Ом·м²:
 $t = 1$ (год)

$$R_n(t)_H = 0 + 30000 \cdot 0.9418 = 282540$$

На конечный срок эксплуатации нефтепровода, Ом·м²:

$$R_n(t)_K = 0 + 30000 \cdot 0.1653 = 49590$$

Переходное сопротивление за единицу длины сооружения, Ом·м:

$$R'_n(t) = \frac{R_n(t)}{\pi \cdot D \cdot 10^{-3}} \quad , \quad (5)$$

$$R'_n(t)_H = \frac{282540}{3.14 \cdot 610 \cdot 10^{-3}} = 147510 \quad ,$$

$$R'_n(t)_K = \frac{49590}{3.14 \cdot 610 \cdot 10^{-3}} = 25890.$$

Постоянная распространения тока вдоль нефтепровода, (1/м):

$$\alpha_H = \sqrt{\frac{R_T}{R_n}} = \sqrt{\frac{2,3 \cdot 10^{-5}}{147510}} = 0,00001 \quad , \quad (6)$$

$$\alpha_K = \sqrt{\frac{R_T}{R_n}} = \sqrt{\frac{2,3 \cdot 10^{-5}}{25890}} = 0,00003.$$

Входное сопротивление, Ом:

$$z_{ex}(t)_H = \frac{\sqrt{R'_n(t)_H \cdot R_T}}{2} \quad , \quad (7)$$

$$z_{ex}(t)_H = \frac{\sqrt{R'_n(t)_H \cdot R_T}}{2} = \frac{\sqrt{147510 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5}}}{2} = 0,9166 \quad ,$$

$$z_{ex}(t)_K = \frac{\sqrt{R'_n(t)_K \cdot R_T}}{2} = \frac{\sqrt{25890 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5}}}{2} = 0,3840$$

Длина защитной зоны одной катодной установки, м:

$$L_3 = \frac{2}{\alpha(t)} \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot z_{ex}(t)_K \cdot Y}{K \cdot (U_m/U_0) \cdot (2\pi \cdot z_{ex}(t)_K \cdot Y + \rho_T)} \quad , \quad (8)$$

где Y – расстояние между нефтепроводом и анодным заземлением –

150 м;

K – коэффициент для нескольких станций – 0,9;

U_m – минимальная наложенная защитная разность потенциалов «труба-земля» – 0,85В;

U_0 – максимальная наложенная защитная разность потенциалов «труба-земля» в точке дренажа – 1,15 В;

$$L_3 = \frac{2}{0,00003} \ln \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3840 \cdot 150}{0,9 \cdot \left(\frac{0,85}{1,15}\right) \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 0,3840 \cdot 150 + 50)} = 18754,7$$

Сила тока катодной установки, А:

$$I = \frac{U_0}{z_{\text{вх}} + \rho_r / (2 \cdot \pi \cdot y)}, \quad (9)$$

$$I_H = \frac{1,15}{0,9166 + 50 / (2 \cdot 3,14 \cdot 150)} = 1,19,$$

$$I_K = \frac{1,15}{0,3840 + 50 / (2 \cdot 3,14 \cdot 150)} = 2,63.$$

Сопротивление растеканию электрода А.З., Ом:

$$R_{\text{э1}} = \frac{0,16 \rho_{\text{А.З.}}}{L_{\text{э}}} \left(\ln \frac{2L_{\text{э}}}{d_a} + 0,5 \cdot \ln \frac{4h + L_{\text{э}}}{4h - L_{\text{э}}} + \frac{\rho_a}{\rho_{\text{А.З.}}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_3} \right), \quad (10)$$

где $\rho_{\text{А.З.}}$ – измеренное удельное электрическое сопротивление грунта в месте размещения А.З. – 40 Ом·м;

$L_{\text{э}}$ – длина электрода – 1 м;

h – расстояние от уровня земли до середины электрода – 1,7 м;

ρ_a – удельное электрическое сопротивление активатора 0,2 Ом·м;

d_a – диаметр активатора – 0,15 м;

d_3 – диаметр электрода без активатора – 0,1 м.

$$R_{\text{э1}} = \frac{0,16 \cdot 40}{1} \left(\ln \frac{2 \cdot 1}{0,15} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 1}{4 \cdot 1,7 - 1} + \frac{0,2}{40} \cdot \ln \frac{0,15}{0,1} \right) = 17,54$$

Плотность анодного тока на каждый заземлитель, А:

$$I_{\text{А.З.}} = \frac{G}{25qK_{\text{нс}}}, \quad (11)$$

где G – полезная масса А.З. – 19 кг;

q – электрохимический эквивалент материала заземления – 0,6 кг/А·год;

$K_{\text{нс}}$ – коэффициент неравномерности растворения А.З. – 2.

$$I_{A.3.} = \frac{19}{25 \cdot 0,6 \cdot 2} = 0,63$$

Количество заземлителей в А.З. (расчетное), шт:

$$N = \frac{I_{A.3.нач} + I_{A.3.кон}}{2I_{A.3.}}, \quad (11)$$

На конечный период эксплуатации, А:

$$I_{A.3.кон} = \frac{V_M}{K_C \cdot R_{\varepsilon 1}}, \quad (12)$$

где V_M – максимальное напряжение на выходе станции – 96 В;

K_C – коэффициент запаса по сопротивлению – 2;

N_d – количество заземлителей – 18 шт.

$$I_{A.3.кон} = \frac{96}{2 \cdot 17,54} = 2,74.$$

На начальный период эксплуатации, А:

$$I_{A.3.нач} = 2N_d I_{A.3.} - I_{A.3.кон}, \quad (13)$$

$$I_{A.3.нач} = 2 \cdot 20 \cdot 0,63 - 3,10 = 22,2,$$

$$N = \frac{22,2 + 2,74}{2 \cdot 0,6} = 18$$

Максимально возможная сила тока А.З. А:

$$I_{A.3.0.} = \frac{V_M K_C}{R_{\varepsilon 1} N}, \quad (14)$$

Где V_M – максимальное напряжение – 96 В;

K_C – коэффициент запаса по сопротивлению – 2.

$$I_{A.3.0.} = \frac{96 \cdot 2}{17,54 \cdot 18} = 0,61$$

Сопротивление растеканию составленное из N электродов, Ом:

$$R_{\varepsilon} = \frac{R_{\varepsilon 1}}{N \eta}, \quad (15)$$

где η – коэффициент экранирования – 1,1.

$$R_{\text{э}} = \frac{17,54}{18 \cdot 1,1} = 0,886$$

Сопротивление А.З., Ом:

$$R_{\text{А.З.}} = R_{\text{э}} + R_{\text{пр.з.}} \quad (16)$$

где $R_{\text{пр.з.}}$ - удельное сопротивление соединительных проводов, Ом:

$$R_{\text{пр.з.}} = \frac{\rho L}{S} \quad (17)$$

где ρ – удельное сопротивление материала – 0,0175 Ом·мм²/м;

L – длина провода -50 м;

S – сечение провода – 10 мм².

$$R_{\text{пр.з.}} = \frac{0,0175 \cdot 50}{10} = 0,088 ,$$

$$R_{\text{А.З.}} = 0,886 + 0,088 = 0,973.$$

Действительное требуемое количество заземлителей, шт:

$$N_{\text{А.З.}} \geq \frac{R_{\text{э1}}}{\eta \cdot R_{\text{А.З.}}} , \quad (18)$$

где η – коэффициент экранирования – 1,1.

$$N_{\text{А.З.}} \geq \frac{17,54}{1,1 \cdot 0,973} = 16$$

Переходное сопротивление А.З., Ом:

$$R_{\text{з}} = R_{\text{А.З.}} + R_{\text{зп}} + R_{\text{зМ}} , \quad (19)$$

$$R_{\text{зп}} = \frac{U_{\text{з-з}}}{I_{\text{А.З.0}}} , \quad (20)$$

где $R_{\text{зп}}$ – поляризованное сопротивление;

$R_{\text{зМ}}$ – сопротивление материала заземления – 0,20 Ом;

$U_{\text{з-з}}$ – поляризационная составляющая падения напряжения на заземлении – 2 В;

$I_{\text{А.З.0}}$ – сила тока в цепи А.З. – 0,6 А.

$$R_{\text{зп}} = \frac{2}{0,6} = 3,22 ,$$

$$R_3 = 0,97 + 3,29 + 0,2 = 4,46.$$

Требуемое напряжение на выходе катодной станции, В:

$$U = I \cdot (z_{\text{вх}}(t) + R_{\text{пр}} + R_3), \quad (21)$$

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{пр1}} + R_{\text{пр2}} + R_{\text{пр3}} + R_{\text{пр.з}}, \quad (22)$$

$$R_{\text{пр 1-3}} = \frac{\rho L}{S}, \quad (23)$$

$R_{\text{пр1}}$ - сопротивление кабеля от СКЗ до нефтепровода, Ом:

$$R_{\text{пр1}} = \frac{0,0175 \cdot 25}{3 \cdot 25} = 0,006$$

$R_{\text{пр2}}$ - сопротивление кабеля от СКЗ до А.З., Ом:

$$R_{\text{пр2}} = \frac{0,0175 \cdot 20}{3 \cdot 50} = 0,002$$

$R_{\text{пр3}}$ - сопротивление кабеля А.З., Ом:

$$R_{\text{пр3}} = \frac{0,0175 \cdot 80}{1 \cdot 50} = 0,140$$

$R_{\text{пр.з}}$ - сопротивление кабеля заземлителей – 0,09 Ом;

$$U = 2,63 \cdot (0,384 + 0,236 + 0,886) = 3,96$$

Мощность на выходе катодной станции, Вт:

$$W = I \cdot U, \quad (24)$$

$$W = 2,63 \cdot 3,96 = 10,4.$$

Срок службы А.З., год:

$$T = \frac{NGK_1}{K_2 q I_{\text{ср А.З.}}}, \quad (25)$$

где G – вес заземления, $G = m \cdot N = 19 \cdot 18 = 342$ кг;

K_1 – коэффициент использования массы заземления – 0,8;

K_2 – коэффициент неоднородности грунта - 1

$$I_{\text{ср А.З.}} = \frac{I_{\text{ср А.З.нач}} + I_{\text{ср А.З.кон}}}{2}, \quad (26)$$

$$I_{\text{ср А.З.}} = \frac{20,06 + 2,74}{2} = 11,$$

$$T = \frac{1 \cdot 342 \cdot 0,8}{1 \cdot 0,6 \cdot 11} = 41.$$

4.2 Выбор анодного заземлителя

По полученным расчетам, производим подбор анодного заземления, подходящего для нашего магистрального нефтепровода. Исходя из расчетов, наиболее оптимальным является графитопластовый заземлитель. Характеристики данного вида заземлителя представлены на таблице 1:

Таблица 1 – Техническая характеристика заземлителя

Наименования параметров	Значения	
	ЭГТ-1000	ЭГТ-1250
Анодный материал	Графито-пласт	
Габаритные размеры, мм:		
- длина (высота)	1000	1250
- диаметр	90	114
Масса электрода, кг	19	23
Скорость растворения, кг/А·год	0,5-1,2	0,5-1,2
Срок службы, лет, не менее	35	

Графитопластовые заземлители (рисунок 11) предназначены для установки и эксплуатации во всех климатических условиях и во всех типах катодной защиты. Главным преимуществом заземлителя марки ЭГТ от других является то, что имеет большую массу, что значит, имеет больший ресурс работы. Электрод ЭГТ состоит из трубы и ниппеля-токоввода. Материал используемый в производстве ниппелей-токовводов - конструкционный графит пропитанный.



Рисунок 11 – Графитопластовый заземлитель

5 Создание расчетной модели

5.1 Постановка задачи моделирования

Рассматривается задача расчета заземляющей системы, состоящей из нескольких анодных заземлителей, нахождение оптимального расстояния между электродами заземлителя для уменьшения эффекта экранирования в среде COMSOL Multiphysics. Эффект экранирования появляется при расположении анодных заземлителей близко друг другу, в результате чего эффективность системы заземления снижается, это проявляется в повышении сопротивления растекания электрического тока анодного заземлителя.

Расчет заземляющих систем на постоянном и переменном токе промышленной частоты выполняется обычно с помощью уравнения диэлектрического потенциала, которая представлена ниже:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\gamma \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\gamma \frac{\partial U}{\partial z} \right) = 0 \quad (27)$$

Это уравнение Лапласа, записанное таким образом, что возможно учесть, что это электропроводность γ - гамма является функцией координат. Такая ситуация возникает, когда электропроводность грунта меняется по глубине, то есть для верхних и нижних слоев она различна.

5.2 Построение модели для решения задач

Таблица 2 – Исходные данные

Параметры	Значение
Длина заземлителя, м	1
Радиус заземлителя, м	0,045
Удельное сопротивление грунта, Ом · м	50
Глубина установки заземлителя, м	1,2
Потенциал заземлителя, В	100

Для построения алгоритма решения задач, построили на основе исходных данных компактную расчетную область при полном учете трёхмерности задачи (рисунок 12).

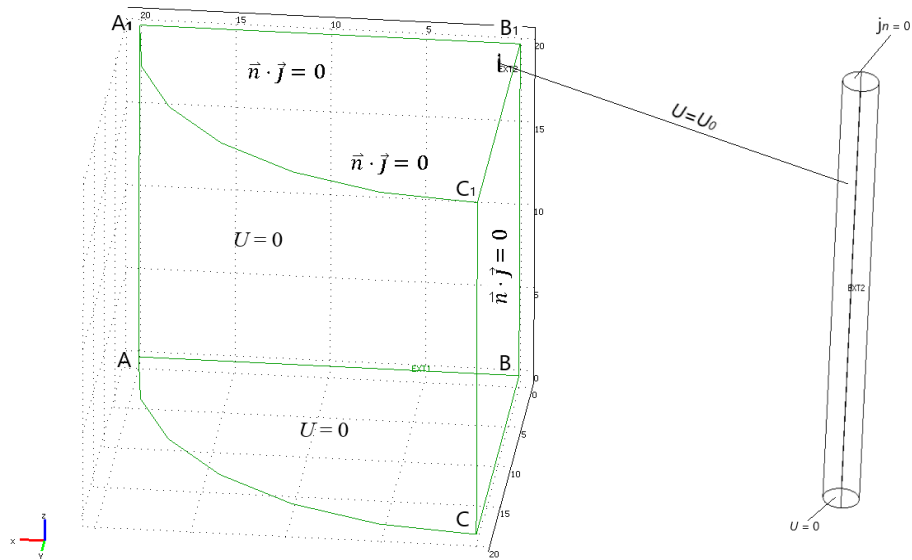


Рисунок 12 – Расчетная область с учетом трехмерности задачи

На рисунке 12, плоскость $A_1B_1C_1$ на границе земля-воздух мы задаем непроницаемость границы, описывая эту область функцией $\vec{n} \cdot \vec{j} = 0$, в физическом смысле одно и то же отсутствие нормальной компонента плотности тока. На плоскостях симметрии AA_1B_1B и CC_1B_1B также заданы условия непроницаемости $\vec{n} \cdot \vec{j} = 0$. Вдали на плоскостях AA_1C_1C и ABC потенциал U равен нулю. Для поверхности заземлителя задается постоянное значение потенциала $U = U_0$. Для нижней части заземлителя $U = 0$ это удаленная земля, а верхняя часть описывается условием $j_n = 0$.

Следующий этап это построение сетки в среде COMSOL Multiphysics с помощью соответствующей функцией Initialize Mesh (инициализировать сетку) на рисунке 13.

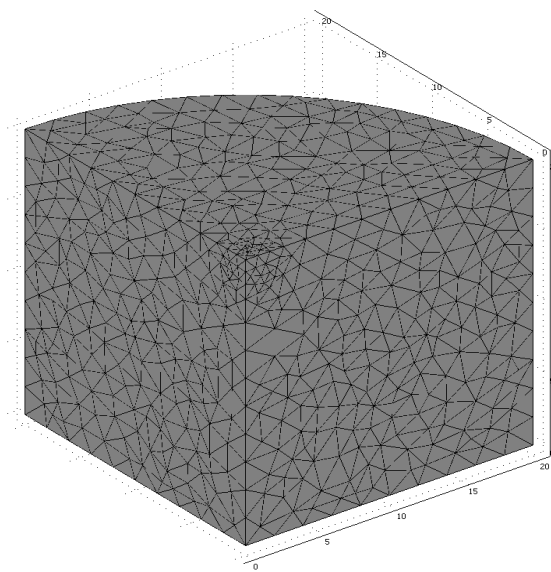


Рисунок 13 – Построение сетки с заданными условиями функции

Следующий этап это решение уравнения потенциала по методу конечных элементов с помощью функцией Solve (решить).

Распределение потенциала заземлителя. Максимальный потенциал там, где стержень, по мере удаления от него потенциал падает к нулю на удаленных границах земляной области.

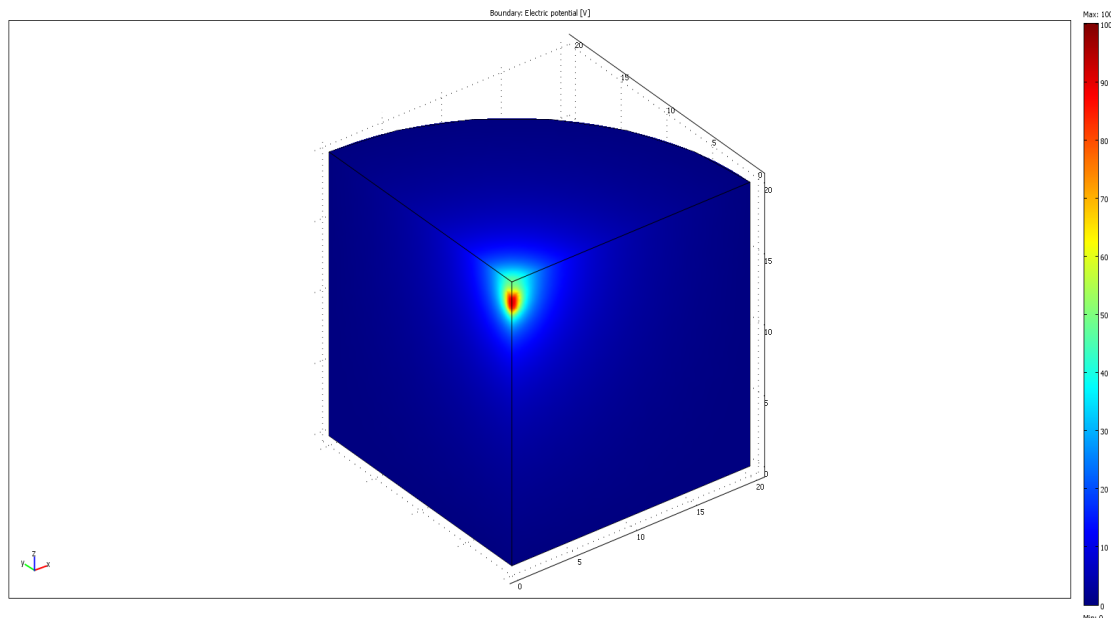


Рисунок 14 – Распределение потенциала тока заземлителя в виде представления границ

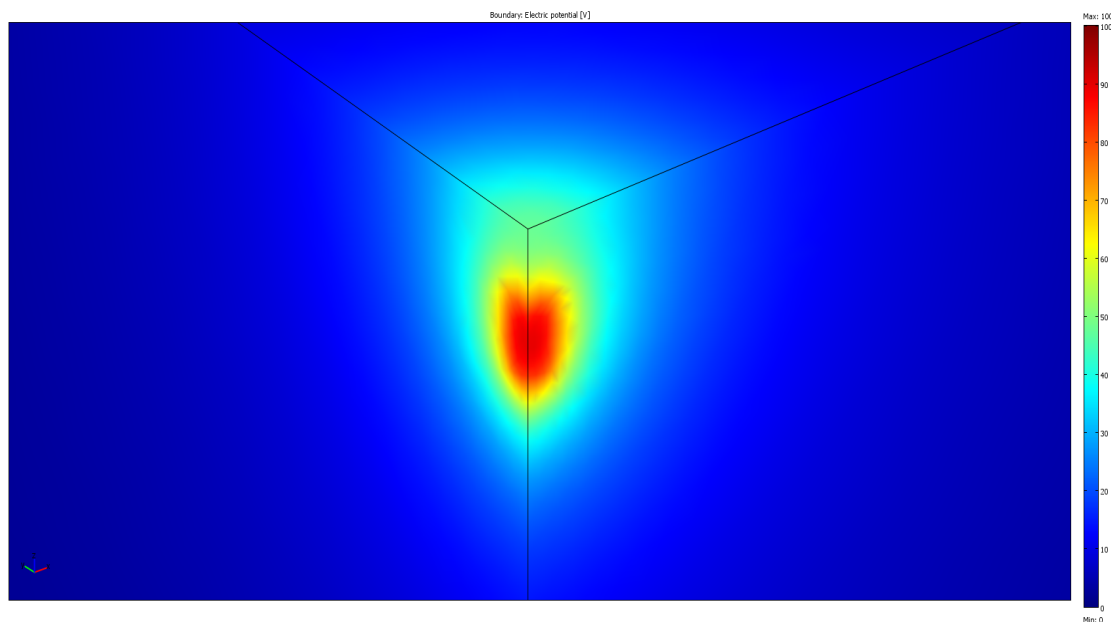


Рисунок 15 – Увеличенный вид распределения потенциала тока заземлителя

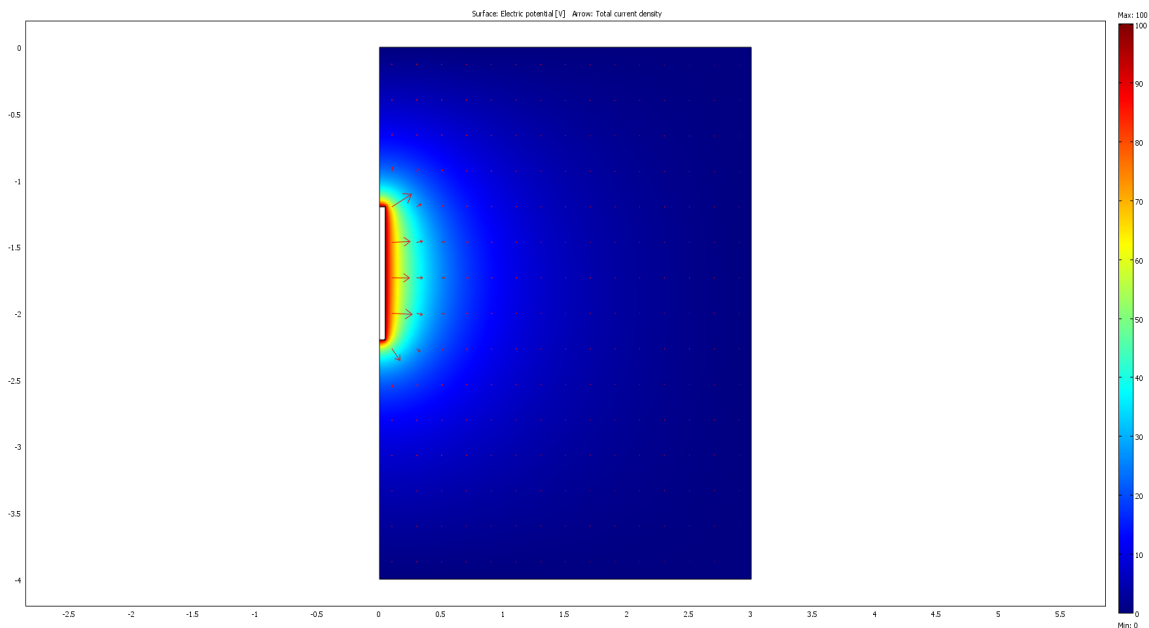


Рисунок 16 – Распределение потенциала в двухмерном виде

На рисунке 16 видно что, максимальный потенциал там, где стержень, по мере удаления от него потенциал падает к нулю на удаленных границах земляной области.

Используя функцию Streamline Plot (рационализировать сюжет), мы увидим растекание электрического тока от заземлителя.

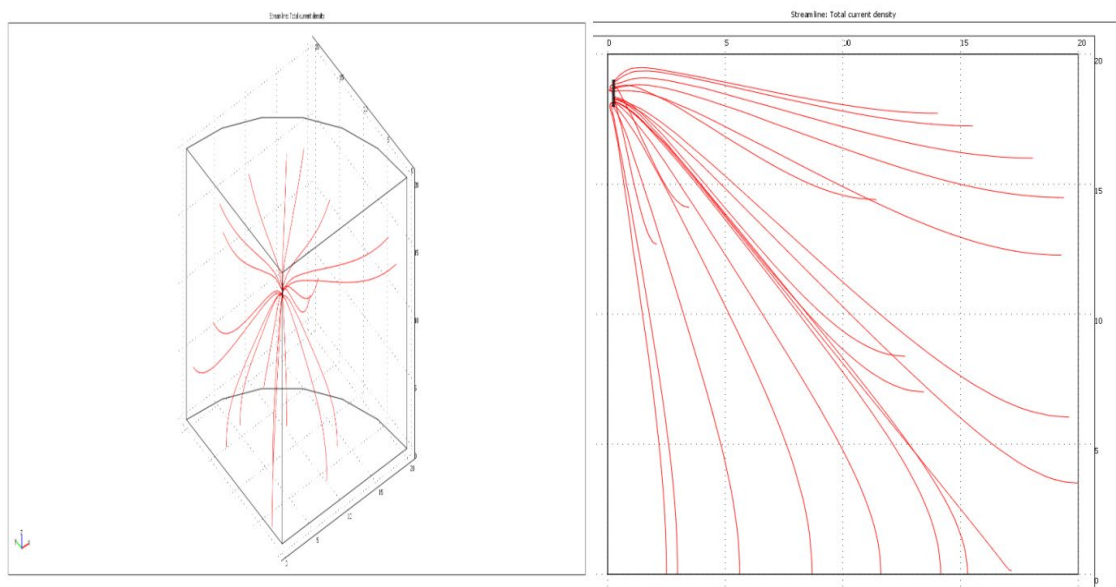


Рисунок 17 – Растекание электрического тока от заземлителя в трехмерном и двухмерном виде

Следующий этап - это расчет сопротивления растекания тока заземлителя. Для этого нам необходимо интегрировать нормальные плотности тока по его поверхности. Переходя в режим Postprocessing

(постпрогресс) определим тот набор границ, по которым будет производиться интегрирование. Как показано на рисунке 18 отметив границы, мы интегрируем нормальные плотности тока, выбрав в столбце Normal current density (нормальная плотность тока), далее при нажатии Apply (применить) производится автоматическое интегрирование. И в нижней части экрана получаем результаты интегрирования.

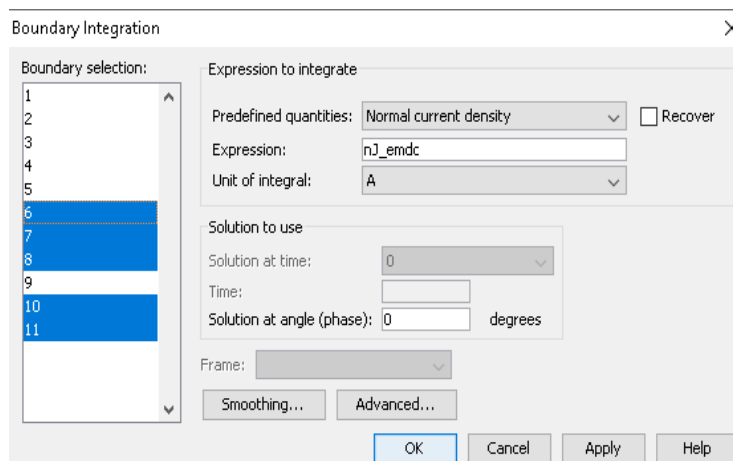


Рисунок 18 – Всплывающее окно интегрирования

Далее зная результаты интегрирования нормальной плотности тока вычисляем сопротивление растекания тока заземлителя для N электрода. Для этого заходим в Option → Constants (опция → константа), вводим значения потенциала заземлителя, затем используя формулу для нахождения сопротивления растеканию составленное из N электродов, подставляем значения получаем решение, как показано на рисунке 19.

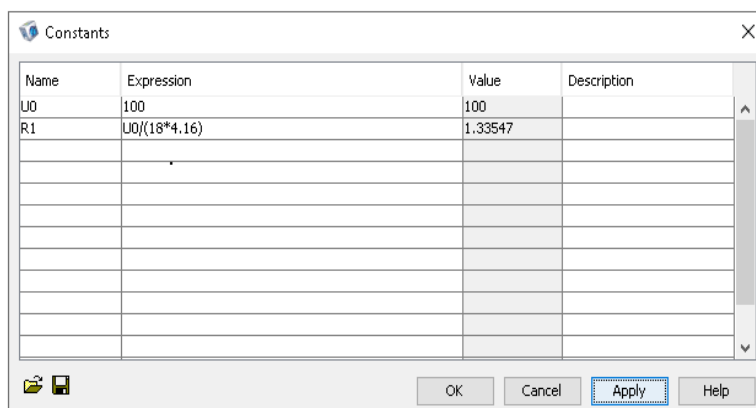


Рисунок 19 – Панель Constant

Следующий этап, изменяя расположение заземлителя, каждый раз на 0,5м повторяем вычисление сопротивления растекания тока заземлителя 4 раза, для нахождения оптимального расстояния между электродами заземлителя.

5.3 Результаты моделирования и исследования

По полученным данным составляем график изменения сопротивления растекания тока в зависимости от расположения электрода заземлителя друг от друга (рисунок 20).

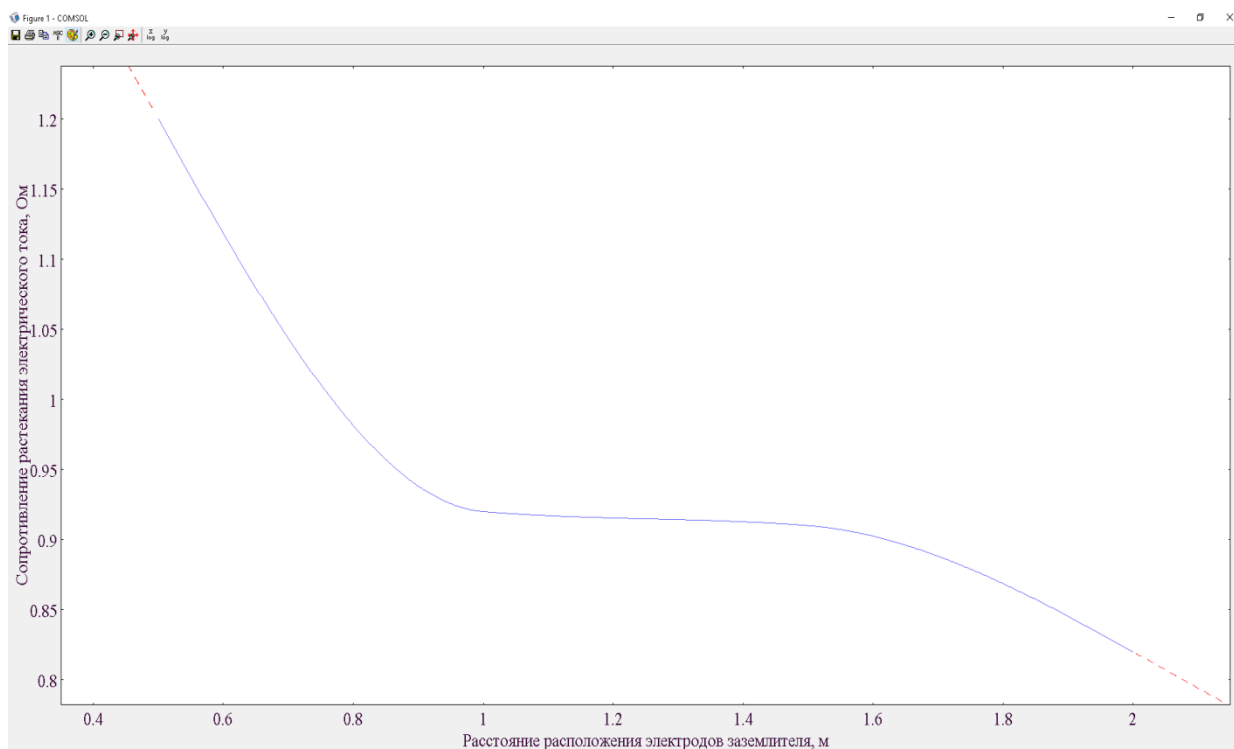


Рисунок 20 – График изменения сопротивления растекания тока в зависимости от расположения электрода заземлителя друг от друга

Используя, результаты расчета сопротивления тока составленное из N электрода заземлителя равное 0,886 и график изменения сопротивления растекания тока в зависимости от расположения электрода заземлителя друг от друга, нашли оптимальное расстояние между электродами заземлителя, $a = 1,83\text{м}$, показано на рисунке 21.

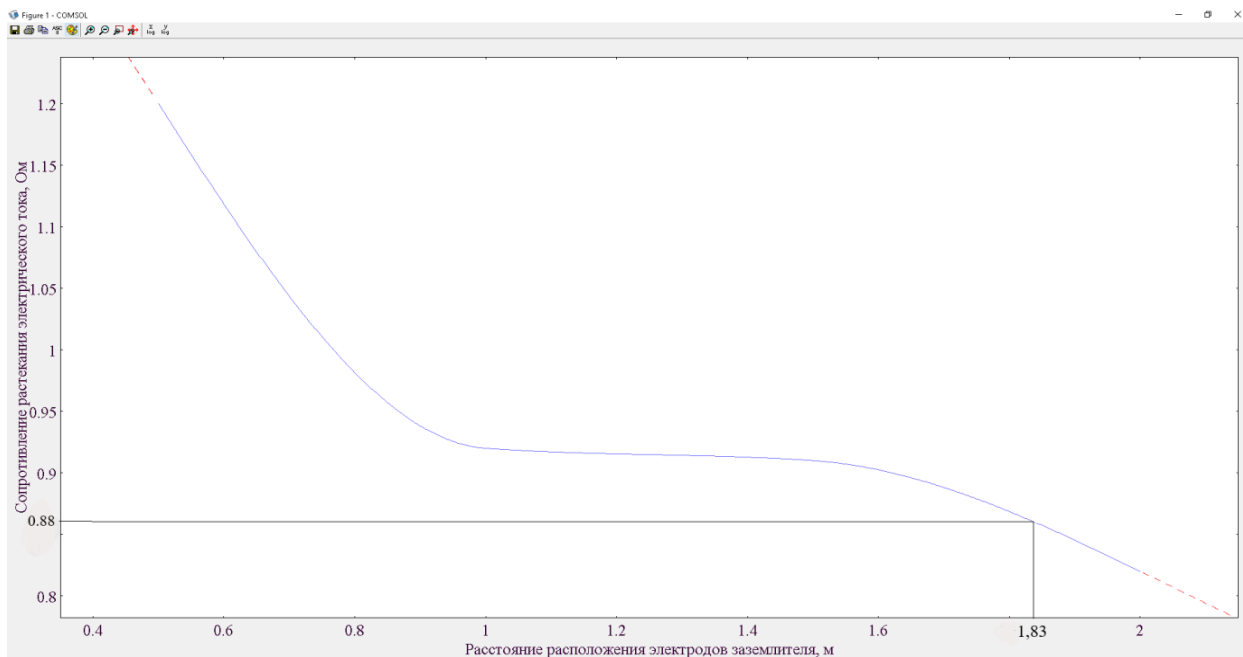


Рисунок 21 – График с результатом оптимального расстояния между электродами заземлителя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной магистерской работы рассмотрены способы сооружения нефтепроводов, методы защиты нефтепроводов от коррозии, а также по материалам сбора, анализа определены факторы, влияющие на эффективность защиты нефтепроводов.

Представлен расчет противокоррозионной защиты для повышения эффективности магистрального нефтепровода путем применения катодной защиты с анодным заземлением. Для создания действующей модели использованы исходные данные и результаты расчетов противокоррозионной защиты.

В результате расчетно-экспериментальных исследований и расчетного моделирования анодного заземлителя с применением программного комплекса КОMSOL Multiphysics определены оптимальное расстояние между заземлителями, обеспечивающие эффективность работы как самих заземлителей, так и катодной защиты. В результате расчетного моделирования установлено, что оптимальное расстояние между заземлителями для трассы данного магистрального нефтепровода составляет 1,83 метров.

В заключении, хотелось бы сказать, что процесс коррозии является по своей природе необратимым, но инженер обязан уметь в своих силах уменьшить воздействие коррозионных процессов путем своими навыками, а именно применяя средства электрохимической защиты, внося новшества для решения данной поставленных задач, тем самым обеспечив надежность и долговечность металлической конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Васильев Г. Г. и др. Прокладка трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах с использованием грунтовых модулей // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2011. – № 3. – С. 12-17.
- 2 Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Васильев Г.Г. и др. – Технология сооружения газонефтепроводов. Под. ред. Г.Г. Васильева. Т.1: Учебник. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. – 632 с.
- 3 Капустин К.Я. Строительство морских трубопроводов. М., Недра, 1982. — 207 с.
- 4 Мустафин Ф.М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Нефтегазовое дело 2003. – 24 с.
- 5 Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей: учебное пособие – Москва: СтройиздатЮ 2004. – 320 с.
- 6 Никитенко Е.А., Эдельман Я.М. Монтер по защите подземных трубопроводов от коррозии: учебник для профтехобразования. – Москва.: Недра, 1981. – 256 с.
- 7 NACE Standard RP0193-2001 External cathodic protection of on-grade carbon steel storage tank bottoms. – Houston, Texas: NACE International, 2001. – 24 p.
- 8 Глотов И. В. Оптимизация режимов работы электрохимической защиты в условиях промышленных площадок / И. В. Глотов, Р. В. Агинец // Сборник научных трудов: материалы IX международной молодежной научной конференции (19-21 марта 2008 г.): в 3 ч.; ч. 2; под ред. Н.Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 179-181.
- 9 Чердабаев Р. Нефть Казахстана. – Астана, 2012. – С. 140-141с.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Мамышева Амангелді Болатұлы

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

На тему: Исследование способов сооружения нефтеперекачивающих магистральных трубопроводов в условиях Казахстана

Выполнено:

- а) графическая часть на __ листах
- б) пояснительная записка на __ листах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Рецензия на магистерскую диссертацию Мамышева Амангелді Болатұлы по специальности 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования на тему «Исследование способов сооружения нефтеперекачивающих магистральных трубопроводов в условиях Казахстана» изложена на 50 страницах.

Рецензируемая работа посвящена теме повышения эксплуатационных свойств нефтепроводов путем применения катодной защиты. Работа состоит из 5 глав, выводов и заключений.

Для достижения поставленной цели, магистрантом был использован комплексный метод исследований, а именно: аналитический обзор как отечественных, так и зарубежных литературных источников, теоретическое обоснование катодной защиты, экспериментальные исследования.

По результатам исследований было опубликовано две научной статьи на конференциях «Сатпаевские чтения – 2020» и «Сатпаевские чтения – 2021» при КазНТУ им. К.И. Сатпаева в секциях «Инновационные технологии в процессах бурения, добычи, сбора и транспортировки нефти и газа».

К замечаниям можно отнести неточность формулировок, касающиеся обоснования принимаемых решений.

В целом работа выполнена на достаточном уровне, соответствует всем требованиям и является законченной, в связи с этим может быть оценена положительно, а ее автор Мамышев А.Б. заслуживает присуждения степени магистра по специальности 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования.



Рецензент

Кудайкулова Гульжан Абдуллаевна
д.т.н., профессор

2021 г.

Занимаемая должность: Генеральный директор ТОО «Бурмаш»

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Мамышев Амангелді Болатұлы

Название: Исследование способов сооружения нефтеперекачивающих магистральных трубопроводов в условиях Казахстана

Координатор: Тогыс Карманов

Коэффициент подобия 1:1.1

Коэффициент подобия 2:1.1

Замена букв: 2

Интервалы: 0

Микропробелы: 4

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите.

Дата 18.06.2021

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Мамышев Амангелді Болатұлы

Название: Исследование способов сооружения нефтеперекачивающих магистральных трубопроводов в условиях Казахстана

Координатор: Тогыс Карманов

Коэффициент подобия 1:1.1

Коэффициент подобия 2:1.1

Замена букв:2

Интервалы:0

Микропробелы:4

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

Тогыс Карманов

