

Внешние антикоррозионные покрытия магистральных трубопроводов

Карсаков Кирилл Борисович,
магистрант
Городников Олег Александрович,
преподаватель

*ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет»
Россия, Владивосток*

E-mail: KB.Karsakov@vvsu.ru; Тел: +79143413938
ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия, 690014

Цель работы заключается в исследовании вариантов пассивной внешней защиты магистральных трубопроводов от коррозии. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач: рассмотреть виды коррозии, обозначить рассматриваемые покрытия и провести сравнительный анализ данных покрытий, сделать вывод, в котором выявить наиболее универсальный вариант защиты трубопроводов.

Ключевые слова и словосочетания: *магистральный трубопровод, коррозия, нефть, газ, защита от коррозии, катодная защита, анодная защита, протекторная защита*

External anticorrosive coatings of main pipelines

The purpose of our work is to study options for passive external protection of main pipelines from corrosion. To achieve this goal, we need to perform a number of tasks: to consider the types of corrosion, identify the coatings in question and conduct a comparative analysis of these coatings, to draw a conclusion in which to identify the most universal option for pipeline protection.

Keywords: *main pipeline, corrosion, oil, gas, corrosion protection, cathodic protection, anodic protection, tread protection*

В современном мире одной из основных проблем при транспортировке нефти и газа по магистральным трубопроводам является постепенное разрушение магистрали под воздействием коррозии.

Существуют два вида коррозии: химическая и электрохимическая. При химической коррозии трубопровод разрушается под воздействием окружающей среды. Сущность этого процесса заключается в элементарных окислительно-восстановительных реакциях. Движущей силой химической коррозии выступает термодинамическая неустойчивость металлов, из которых изготовлены магистральные трубопроводы, то есть их стремление перейти к более устойчивому состоянию. Процесс электрохимической коррозии гораздо сложнее, потому что происходит самопроизвольное разрушение металла под воздействием электролитов, к которым можно отнести: растворы щелочей, солей, кислот, морскую воду, увлажнённые газы и так далее. Данный процесс основан на неоднородности поверхностей металлов, из-за которой на поверхности магистрали возникают участки, имеющие различные значения электродных потенциалов. Участки с меньшим потенциалом выступают в качестве анода (на них происходит окисление), участки с большим потенциалом – в качестве катода (на них происходит восстановление). Из-за постоянного присутствия анода и катода на поверхности трубопровода возникает электрохимическая коррозия.

Коррозия на магистралях может возникать как внутри трубопровода, так и снаружи. Нефть и нефтепродукты являются достаточно коррозионно-активными. Это объясняется тем,

что в них содержится много химически активных веществ, которые остаются даже после подготовки продукта к транспортировке. К таким химически активным веществам можно отнести: молекулы воды и кислорода, различные кислородсодержащие вещества, сернистые соединения и соли. Но в большей степени влияние на коррозионную агрессивность нефти и нефтепродуктов оказывает содержание меркаптанов-тиоспиртов, серы и сероводородов. Именно из-за присутствия этих веществ образуется внутренняя коррозия. К причинам внешней коррозии можно отнести влияние грунтовых вод и различные атмосферные явления.

Коррозия магистралей ведёт к очень большим проблемам. Например, происходит разрушение трубопровода внутри и снаружи, уменьшение времени между плановыми (профилактическими) осмотрами магистралей, увеличение вероятности внепланового ремонта, появление дополнительных затрат на замену труб и оборудования, возможное полное или частичное перекрытие магистралей (происходит остановка перекачивания продукта). Также стоит отметить, что снижается качество транспортируемого продукта. Чтобы избежать всех этих неприятных последствий коррозии, применяются различные способы борьбы с ней. Есть два основных вида защиты трубопровода от коррозии: пассивная и активная. Давайте более подробно остановимся на пассивной защите.

Пассивная защита заключается в противодействии образованию коррозии, но бездействию на причины её появления. Она основана на использовании специальных изоляционных покрытий (битум, эпоксидные смолы, каменноугольный пек, полимерные ленты и прочее). Для магистральных трубопроводов применяют как внешнее изоляционное покрытие, которое необходимо для защиты магистралей от почвенной коррозии, так и внутреннее покрытие, которое противодействует коррозионно-активным компонентам нефти и нефтепродуктов. Внешнее покрытие защищает трубопровод от столкновения с блуждающими токами и от контакта с грунтовыми водами. Наиболее часто применяются покрытия на лаковой, битумной и полимерной основах.

Помимо высокой коррозионной устойчивости, изоляционные покрытия должны удовлетворять следующим основным требованиям [1]:

- обладать высокими диэлектрическими свойствами;
- быть сплошными и герметичными;
- обладать хорошей адгезией (цепкостью) к металлу трубопровода;
- обладать высокой механической прочностью и эластичностью; высокой биостойкостью;
- быть термостойкими.

Опираясь на ГОСТ 9.602-2016, можно выделить три основных типа покрытия магистральных трубопроводов: нормальное, усиленное и весьма усиленное. Наиболее популярным типом является усиленный, так как имеет наибольшее видовое разнообразие в конструкции. Но всё-таки основным критерием при выборе типа покрытия является не видовое разнообразие, а коррозионность почвы, в которой будет проложен магистральный трубопровод.

Таблица 1

Общая минимальная толщина покрытия в зависимости от типа покрытия и диаметра трубы [2]

Нормальный диаметр трубы, мм	Минимальная толщина покрытия, мм		
	Трёхслойное покрытие		Двухслойное покрытие
	Нормальное исполнение	Специальное исполнение	Нормальное исполнение
	Тип 1, 2, 3	Тип 4	Тип 1
до 237 вкл.	2,0	2,2	2,0
от 273 до 530 вкл.	2,2	2,5	2,2
от 530 до 820 вкл.	2,5	3,0	2,5
свыше 820	3,0	3,5	-

Рассмотрим наиболее популярные варианты покрытий: битумную мастику, полиэтиленовую ленту на основе полиэфирных смол и покрытия на основе эпоксидных смол.

Битумные мастики. Их применяют как на подземных, так и на надземных трубопроводах. Составы мастик варьируются в очень больших пределах, потому что атмосферные факторы, биологические и химические среды, а также механические нагрузки требуют особой устойчивости покрытия. Поэтому под разные условия эксплуатации применяют различные составы мастик, но основа остаётся постоянной.

В целом, битумные мастики используют в самых различных условиях:

- в местах, расположенных южнее 50° северной широты;
- в поливных, заболоченных или засоленных типах грунтов вне зависимости от региона;
- под водой и в речных поймах, а также параллельно речным руслам, находящимся вблизи каналов, озёр, населённых пунктов и промышленных предприятий;
- вблизи железнодорожных путей;
- на участках сбросов бытовых и промышленных отходов;
- в местах наличия блуждающих токов.

Из-за разного состава мастик продолжительность эксплуатации материала также будет различаться. Стоит понимать, что на надземные магистральные трубопроводы и подземные действуют различные факторы окружающей среды, поэтому покрытия для этих трубопроводов также будут отличаться. Чтобы определить «время жизни» покрытия, учёные в лабораториях искусственно создают условия эксплуатации, максимально приближенные к действительным. В ходе множества экспериментов снимаются различные параметры, на основании которых выстраиваются графики, примерно показывающие срок службы мастики. Так, некоторые современные покрытия могут использоваться в очень широком температурном диапазоне: от -50°C до +100°C [3]. При этом срок службы таких покрытий составляет от 25 до 40 лет (на срок эксплуатации очень сильно влияют внешние условия использования материала).

Существует два способа нанесения битумных мастик: горячий и холодный. Горячий способ нанесения подходит для «чистого» битума или битума, смешанного с небольшим количеством примесей (допускается 10...20%). Данный метод предполагает нагревание материала до желаемой вязкости, а затем нанесения его на поверхность. Таким способом чаще всего пользуются при прокладке подземных трубопроводов. Холодный способ больше подходит для покрытия маленьких площадей (например, крыша гаража).

Битумные мастики, как и все покрытия, имеют свои плюсы и минусы. К положительным сторонам покрытия можно отнести:

- высокую степень адгезии и вязкость состава;
- сплошное покрытие, создаваемое за счёт эластичности состава, позволяющее скрыть небольшие неровности поверхности;
- экономическую выгоду (гораздо дешевле обойдётся покрыть магистраль мастикой, нежели менять трубопровод);
- маленький вес и расход (по сравнению с рулонными материалами);
- компоненты, входящие в состав мастик, чаще всего, не относятся к разряду веществ, способных пагубно повлиять на здоровье человека.

Но также данные покрытия не лишены и недостатков:

- для работы с составом нужны определённые погодные условия: температура окружающей среды не должна быть ниже -5°C, также не должно быть ветра и осадков;
- при нанесении мастики вручную возможно неравномерное распределение защитного слоя (стоит отметить, что ручное нанесение встречается крайне редко, потому что ручное покрытие занимает очень много времени).

Полиэтиленовые ленты на основе полиэфирных смол. Для противокоррозионной защиты трубопроводов малых и средних диаметров (до 530 мм) в последние годы довольно широко и успешно используется комбинированное ленточно-полиэтиленовое покрытие. Комбинированное ленточно-полиэтиленовое покрытие наносится на трубы в заводских или базовых

условиях. Конструктивно покрытие состоит из слоя адгезионной грунтовки (расход грунтовки – 80...100 г/м²), слоя дублированной полиэтиленовой ленты (толщина 0,45...0,63 мм) и наружного слоя на основе экструдированного полиэтилена (толщина от 1,5 мм до 2,5 мм). Общая толщина комбинированного ленточно-полиэтиленового покрытия составляет 2,2...3,0 мм [4].

Полиэтиленовые ленты могут применяться как на надземных трубопроводах, так и на подземных. Связано это с тем, что составы лент, как и битумных мастик, очень сильно зависят от места прокладки магистрального трубопровода. Но у ленточного покрытия есть небольшая особенность – под него наносится праймер, который также подбирается под условия эксплуатации трубопровода.

Конструктивно полиэтиленовые ленты на основе полиэфирных смол состоят из: слоя адгезионной грунтовки, слоя полимерной липкой ленты (толщиной около 0,6 мм) и слоя защитной полимерной обёртки (толщиной примерно 0,6...0,7 мм). Общая толщина покрытия составляет минимум 1,2 мм, но по ГОСТ Р 51164-98 толщина должна быть 1,8...2,4 мм. Чтобы избежать неприятностей, ленту наматывают в несколько слоёв или закупают ленты, в которых применяются экструдированный полиэтилен, который толще обычного. Таким образом, происходит экономия денежных средств, так как расход ленты на основе экструдированного полиэтилена значительно ниже, чем ленты на основе обычного полиэтилена.

В конструкции комбинированного покрытия полиэтиленовая изоляционная лента, нанесённая на адгезионную грунтовку, обеспечивает устойчивую связь между защитным покрытием и сталью трубопровода. А также обеспечивает стойкость покрытия к катодному отталкиванию. В это же время наружный слой из экструдированного полиэтилена отвечает за механические характеристики покрытия (придаёт покрытию повышенную ударную прочность, устойчивость к продавливанию и световому старению).

Полиэтиленовые ленты на основе полиэфирных смол предназначены для наружной изоляции труб нефтепромысловой промышленности диаметрами от 109 до 426 мм, однако, комбинированное покрытие (включающее в себя ленту, праймер и мастику) может применяться для изоляции труб диаметрами от 42 мм до 820 мм. Трубы с внешним комбинированным ленточно-полиэтиленовым покрытием могут храниться при температурах от -50°С до +50°С. При этом срок хранения изолированных труб под открытым небом составляет минимум один год.

Технология нанесения комбинированного ленточно-полиэтиленового покрытия в стационарных (заводских, базовых) условиях включает следующие последовательно проводимые операции:

- предварительный нагрев и сушку труб;
- очистку наружной поверхности труб от ржавчины и окалины;
- нанесение и сушку адгезионной грунтовки;
- нанесение дублированной полиэтиленовой ленты;
- нанесение экструдированного полиэтиленового слоя;
- охлаждение защитного покрытия;
- контроль качества изолированных труб [4].

Нанесение эпоксидного покрытия – это обработка металлических поверхностей составами на основе эпоксидной смолы. Это вещество обладает многими положительными качествами: смола устойчива к действию влаги и жидкого топлива, а также щелочной и масляной среды. Помимо этого, такие смолы характеризуются высокой степенью адгезии и отличной переносимостью механического и химического воздействия [5].

Эпоксидное покрытие выполняет ряд важных задач:

- защищает трубопровод от коррозии;
- минимизирует потерю продукта при транспортировке (если говорить о внутреннем покрытии);
- защищает поверхность трубопровода от биологического воздействия.

Отличие труб с эпоксидным покрытием от обычных металлических изделий заключается в наличии сплошного полимерного защитного слоя. Считается, что трубы, покрытые эпоксидной защитой, служат 20...25 лет при температуре эксплуатации от -35°С до +180°.

К основным преимуществам эпоксидного покрытия можно отнести:

- длительный срок службы;
- способность противостоять блуждающим токам, химическим реакциям, накипи, отложениям;
- легко наносится на магистраль;
- устойчивость к сточным водам, а также углекислотам и сероводородам.

Таблица 2

Сравнительная характеристика рассматриваемых покрытий

Характеристика	Покрытие		
	Битумная мастика	Полимерные ленты	Эпоксидные покрытия
Время службы покрытия при постоянном контакте с агрессивной средой	17...20 лет	20...25 лет	5...7 лет
Стоимость нанесения 1 погонного метра	2172,00 ¹ руб.	1882,91 ² руб.	1374,90 ² руб.
Дополнительные компоненты, применяемые к покрытию	Нет необходимости в дополнительных компонентах	Адгезионный праймер	Растворители и обезжириватели
Температурный диапазон эксплуатации	от -50°С до +100°С	от -50°С до +75°С	от -35°С до +180°С
На каких трубопроводах применяется (подземные/наземные)	Покрытие применимо и к наземным, и к подземным трубопроводам	Покрытие применимо и к наземным, и к подземным трубопроводам	Покрытие применимо и к наземным, и к подземным трубопроводам
Приспособления для нанесения покрытия в полевых условиях	Необходимы дополнительные приспособления для постоянного подогрева мастики и нанесения её на поверхность трубопровода	Нужен аппарат, наматывающий ленту на магистраль	Аппарат, очищающий поверхность, и распылитель

Из данных, приведённых выше, можно сделать следующие выводы. Полимерные ленты имеют наибольший срок службы. Времени их эксплуатации как раз хватает до первого капитального ремонта магистрального трубопровода (капитальный ремонт производится раз в 20...25 лет). Самым дешёвым покрытием являются эпоксидные. Но у них очень маленький срок эксплуатации, поэтому придётся затратить достаточно много денежных средств на поддержание защитного слоя. В тоже время полимерные ленты обойдутся несильно дороже (разница составляет всего 508,01 руб/п. м), но срок службы значительно больше, чем у эпоксидных покрытий, поэтому ленты использовать выгоднее с экономической точки зрения. Битумная мастика не нуждается в дополнительных компонентах при нанесении на магистраль, но при

¹ Данные на 2020 год.

² Данные на 2022 год.

этом требует большого количества дополнительных приспособлений для нанесения её в полевых условиях. Полимерные ленты нуждаются всего лишь в праймере для лучшей связи со сталью, но для нанесения требуют лишь упаковочный аппарат, что является значительным преимуществом перед битумными мастиками. Битумные мастики и полимерные ленты можно использовать в северных районах, так как нижний температурный предел эксплуатации позволяет это сделать. Эпоксидные покрытия лучше всего применять в более тёплых районах. Но в нашей стране нет такой местности, где температуры доходили бы хотя бы до +75°C. Поэтому наиболее удачными вариантами станут битумные покрытия и полимерные ленты.

На основании приведённых выше данных можно сделать заключение, что самым оптимальным вариантом защиты магистральных трубопроводов от коррозии являются полимерные ленты. Так как данные покрытия являются самыми долговечными, их наносить экономически выгодно, а также их можно применять в любом районе нашей страны.

-
1. Способы защиты нефтепроводов от коррозии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru>
 2. ГОСТ Р 51164-98. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии: утверждён и введён в действие Постановлением Госстандарта России от 23 апреля 1998 г. № 144: введен впервые: дата введения 1999-07-01 / разработан: АО ВНИИСТ, ВНИИГАЗ и ИПТЭР. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 42 с.
 3. Резино-битумная мастика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.poparimsya.com>
 4. Заводское комбинированное ленточно-полиэтиленовое покрытие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net>
 5. Эпоксидное покрытие труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kzit.ru>