

УДК 621.643  
МРНТИ 31.41.11  
<https://doi.org/10.56525/PAKO5631>

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ ПОЛИМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

**БЕКБАУЛИЕВА А.А.**

Университет Есенова, Актау, Казахстан  
e-mail: aliya.bekbauliyeva@yu.edu.kz

### **Аннотация**

Коррозия трубопроводов является одной из главных причин снижения их срока службы и эксплуатационных характеристик. Трубопроводы подвергаются агрессивному воздействию различных внешних факторов, таких как химические соединения, температурные колебания, механические нагрузки и т.д., что способствует развитию коррозии. Одним из наиболее эффективных методов защиты от коррозии является использование полимерных покрытий, которые образуют надежный барьер между металлической поверхностью и агрессивной внешней средой. В статье рассматриваются современные достижения в области применения полимерных покрытий для защиты трубопроводов, их особенности, преимущества и недостатки, а также методы нанесения и области применения. Анализируется широкий спектр полимерных материалов, таких как эпоксидные, полиуретановые и полиэтиленовые покрытия, а также перспективы их дальнейшего совершенствования с использованием нанотехнологий.

### **Ключевые слова**

Коррозия трубопроводов; полимерные покрытия; защита от коррозии; эпоксидные покрытия; полиуретановые покрытия; технологии нанесения покрытия; инновации; трубопроводные системы.

Коррозия трубопроводов является одной из наиболее значимых и дорогостоящих проблем, с которой сталкиваются различные отрасли промышленности, такие как нефтегазовая, энергетическая, химическая и водоснабжение. Проблема коррозии требует комплексного подхода, поскольку она может привести к разрушению металлических конструкций, утечкам, авариям и даже экологическим катастрофам. Одним из наиболее эффективных методов защиты трубопроводов от коррозии являются полимерные покрытия, которые приобрели широкое распространение в последние десятилетия. Эти покрытия обеспечивают надежную защиту от внешних и внутренних факторов, способствующих коррозионным процессам. В данной статье рассматривается современное состояние защиты трубопроводов от коррозии полимерными покрытиями, их особенности, преимущества и недостатки, а также тенденции и перспективы развития этой технологии.

Коррозия трубопроводов - это процесс разрушения металлов, который происходит под воздействием химических, физических или биологических факторов. Этот процесс может проявляться в разных формах, таких как равномерная коррозия, точечная коррозия, стрессовая коррозия, а также в виде растрескивания материала под воздействием различных нагрузок. В случае трубопроводных систем коррозия может происходить как на внутренней, так и на внешней поверхности труб. Внешняя коррозия особенно опасна, так как она может привести к быстрому разрушению трубопровода, особенно в условиях воздействия агрессивных факторов окружающей среды, таких как влага, химически активные соединения, высокая температура, соленая вода, кислоты и щелочи [1].

Для борьбы с коррозией трубопроводов разработаны различные методы защиты. Одним из самых эффективных и широко применяемых методов является нанесение на поверхность трубопроводов различных антикоррозионных покрытий, среди которых полимерные покрытия занимают ведущее место. Полимерные покрытия обладают рядом значительных преимуществ, таких как высокая стойкость к химическим воздействиям, механическим повреждениям, а также длительный срок службы. Эти покрытия способны обеспечивать надежную защиту трубопроводов в самых разнообразных условиях эксплуатации, что делает их востребованными во многих отраслях [2].

Полимерные покрытия представляют собой специальные пленки, образующиеся на поверхности трубопроводов из полимерных материалов, которые наносятся на металл для создания барьера между металлом и окружающей средой (рис.1). Эти покрытия предотвращают контакт металла с кислородом, влагой, химическими веществами и другими агрессивными факторами, которые могут способствовать развитию коррозии. В зависимости от состава и характеристик полимеров, покрытия могут обладать разной степенью защиты, что позволяет использовать их в различных условиях [3].

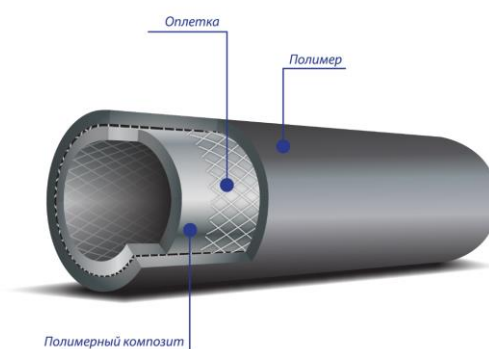


Рисунок 1. Пример полимерного покрытия на трубопроводе

На сегодняшний день существует несколько типов полимерных покрытий, которые используются для защиты трубопроводов от коррозии. Одним из самых распространенных видов является эпоксидное покрытие, которое применяется для защиты как внешних, так и внутренних поверхностей трубопроводов. Эпоксидные покрытия характеризуются высокой прочностью, хорошей адгезией к металлическим поверхностям, устойчивостью к воздействию химических веществ, а также долговечностью (рис.2). Эти покрытия особенно эффективны для защиты трубопроводов, эксплуатируемых в условиях воздействия кислых и щелочных сред, а также различных агрессивных химических веществ, которые могут присутствовать в жидкости или газе, транспортируемом по трубопроводам.

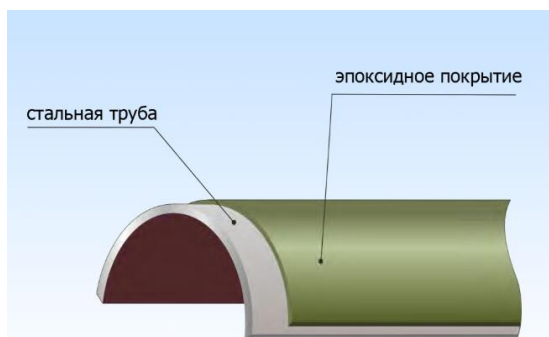


Рисунок 2. Пример эпоксидного покрытия на трубопроводе

Преимущества эпоксидного покрытия. Отличие труб с внутренним эпоксидным покрытием от обычных металлических изделий заключается в наличии сплошного полимерного защитного слоя. Изготовители рассчитывают, что трубы будут служить в течение долгого времени при температуре от -35 до +180 градусов.

Эпоксидное покрытие - это защита от эрозии и коррозии, перепадов температуры, катодного отслаивания, абразивного износа, действия агрессивной среды. Кроме того, трубы с эпоксидным покрытием имеют следующие преимущества:

- длительный срок службы;
- повышенная пропускная способность со сниженным гидравлическим сопротивлением потока, что объясняется антифрикционными свойствами;
- способность противостоять блуждающим токам, химическим реакциям, накипи, отложениям, биологическому обрастанию;
- легкая стыковка с помощью металлизации и втулок. Защитная поверхность при этом не нарушается;
- устойчивость к сточным водам, а также углекислотам и сероводородам;
- выполнение своей непосредственной функции - постоянный контакт и транспортировка различных смесей.

Еще одним широко используемым типом полимерных покрытий являются полиуретановые покрытия. Эти покрытия обладают хорошей эластичностью, что позволяет им эффективно выдерживать механические воздействия, такие как удары и абразивное истирание. Полиуретановые покрытия также обладают высокой стойкостью к воздействию ультрафиолетового излучения, что делает их особенно подходящими для защиты трубопроводов, расположенных в открытых условиях. Они также устойчивы к воздействию химически активных веществ, таких как масла, соли и растворители.

Одной из наиболее перспективных технологий защиты трубопроводов от коррозии является использование многослойных полимерных покрытий (рис.3). Многослойные покрытия представляют собой комбинацию нескольких типов полимерных материалов, что позволяет улучшить их эксплуатационные характеристики. Каждый слой в многослойном покрытии выполняет свою специфическую функцию. Например, один слой может обеспечивать защиту от химического воздействия, другой - от механических повреждений, третий - от ультрафиолетового излучения и воздействия внешних климатических факторов. Многослойные покрытия могут быть адаптированы к различным условиям эксплуатации, обеспечивая комплексную защиту трубопроводных систем [4].



Рисунок 3. Виды многослойных полимерных покрытий

Поливинилхлоридные (PVC) покрытия также нашли широкое применение в защите трубопроводов, особенно в менее агрессивных средах. PVC покрытия обладают хорошей стойкостью к воздействию воды, солей и органических растворителей. Однако они менее

устойчивы к воздействию кислот и щелочей, чем другие типы полимерных покрытий. Тем не менее, для трубопроводов, которые работают в менее агрессивных условиях, PVC покрытия являются хорошим выбором, так как они предлагают разумное сочетание стоимости и защиты от коррозии.

Одним из основных факторов, который определяет выбор типа полимерного покрытия для защиты трубопроводов, является химический состав и агрессивность среды, в которой эксплуатируется трубопровод. Например, трубопроводы, которые перекачивают нефть и газ, часто подвергаются воздействию сероводорода и углекислого газа, что требует применения покрытий с высокой химической стойкостью. В таких случаях предпочтение отдается эпоксидным или полиуретановым покрытиям, которые обладают хорошей устойчивостью к этим веществам. В то время как для трубопроводов, работающих в менее агрессивных средах, могут быть использованы более дешевые покрытия, такие как PVC.

Одним из наиболее важных аспектов, который необходимо учитывать при применении полимерных покрытий для защиты трубопроводов от коррозии, является процесс нанесения этих покрытий. Нанесение полимерных покрытий требует тщательной подготовки поверхности трубопровода, так как от этого зависит адгезия покрытия к металлу и его долговечность. Поверхность труб должна быть очищена от ржавчины, грязи и других загрязнений, чтобы обеспечить хорошее сцепление полимерного покрытия с металлом. Для этого используются различные методы очистки, такие как пескоструйная обработка, химическая очистка или механическое шлифование.

После подготовки поверхности наносится слой полимерного покрытия, который может быть нанесен различными способами, такими как напыление, кистевое нанесение или электростатическое распыление (рис.4). Метод нанесения зависит от типа покрытия, условий эксплуатации трубопроводов и других факторов. Например, для эпоксидных покрытий часто используется метод горячего напыления, который обеспечивает равномерное покрытие и хорошую адгезию к металлической поверхности. После нанесения покрытия необходимо провести его отверждение, что может осуществляться с использованием тепла, ультрафиолетового излучения или химических реакций.



Рисунок 4. Нанесение полимерного покрытия

Современные технологии и материалы позволяют значительно повысить эффективность защиты трубопроводов от коррозии полимерными покрытиями. В последние годы особое внимание уделяется разработке многослойных покрытий, которые включают несколько различных материалов с разными защитными свойствами. Многослойные покрытия могут комбинировать эпоксидные, полиуретановые и другие покрытия для обеспечения максимальной защиты от коррозии в различных условиях. Такие покрытия обеспечивают защиту от воздействия химических веществ, механических повреждений, а также от воздействия ультрафиолетового излучения и других внешних факторов [4].

Кроме того, в последнее время активно разрабатываются покрытия, обладающие самоисцеляющимися свойствами. Такие покрытия могут восстанавливать свою целостность после повреждения, что значительно увеличивает их долговечность и снижает потребность в регулярном обслуживании и ремонте трубопроводов. Эти покрытия могут быть использованы для защиты трубопроводов, которые работают в экстремальных условиях, где возможны механические повреждения или воздействие высоких температур.

Инновационные технологии в области полимерных покрытий также включают использование нанотехнологий. Наночастицы, добавляемые в полимерные покрытия, могут значительно повысить их защитные свойства. Например, нанодиамамы, нанокерамика или нанотрубки могут быть использованы для повышения устойчивости покрытия к механическим повреждениям, износу и воздействию химических веществ [5].

Также создаются и внедряются наноконпозиционные покрытия на основе полиолефинов, модифицированных наночастицами углерода и кремния. Благодаря сочетанию в различных комбинациях составляющих материала и вариации толщины слоев потенциально могут быть достигнуты высокие твердость, прочность, химическая стабильность, низкий коэффициент трения и хорошая износостойкость покрытий.

Востребованность разработки обусловлена огромным потенциальным рынком сбыта новой продукции, включающим нефтяную, газовую, нефтегазоперерабатывающую, химическую и энергетическую отрасли (рис.5) и ужесточающимися требованиями к качеству защитных покрытий трубопроводов. Ежегодная потребность только нефтяной промышленности в трубах с покрытием составляет выше 80 тыс. км [6].

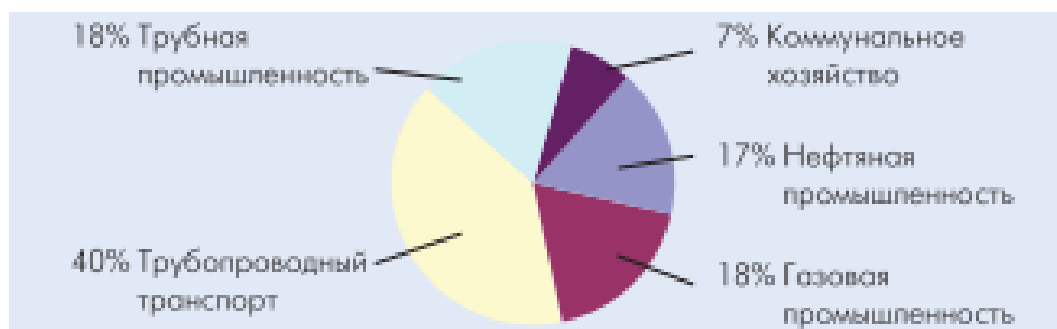


Рисунок 5. Потребление коррозионностойких покрытий для труб

Также разрабатываются покрытия с антимикробными свойствами, которые могут предотвратить развитие бактерий и микробов на поверхности трубопроводов, что особенно важно в водоснабжении и других отраслях, где требуется поддержание высокого уровня гигиены.

Таким образом, полимерные покрытия являются одним из наиболее эффективных методов защиты трубопроводов от коррозии, обладая высокой устойчивостью к химическим, механическим и внешним воздействиям. Современные разработки и инновации в этой области позволяют значительно повысить эффективность защиты, улучшить долговечность трубопроводов и снизить эксплуатационные расходы. С развитием технологий и появлением новых материалов можно ожидать дальнейшего совершенствования методов защиты трубопроводов от коррозии, что будет способствовать их более эффективному и долговечному использованию в различных отраслях промышленности [7].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. М. Р. Школьников, В. И. Смирнов. «Защита от коррозии. Современные материалы и технологии». М.: Химия, 2015.

2. С.А. Гольдман, А.И. Бессмертный. «Методы защиты металлов от коррозии». М.: Машиностроение, 2010.
3. В.А. Шмидт, Л.Г. Казачкова. «Полимерные покрытия для защиты трубопроводов». Трубопроводный транспорт, 2018.
4. Д.А. Мельников. «Современные методы защиты трубопроводов в нефтегазовой промышленности». Нефтегазовая промышленность, 2020.
5. Макушкина С.М. «Защита от коррозии магистральных газопроводов. Современные методы и средства». Издательство: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2020.
6. Байбурина И.Т., Собачкин А.С. «Анализ перспектив совершенствования пассивной защиты трубопроводов от коррозии». «ОМЕГА САЙНС», 2020.
7. Агинея Р.В., Никулин С.А., Александров Ю.В., Александров О.Ю., Исупова Е.В., Исламов Р.Р., Пак А.Л. «Защита нефтегазопроводов от коррозии. Защитные покрытия». Инфра-Инженерия, 2024.

## **ҚҰБЫРЛАРДЫ ПОЛИМЕРЛІ ЖАБЫНДАРМЕН КОРРОЗИЯДАН ҚОРҒАУДЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ**

**А.А. Бекбаулиева**

Есенов Университеті, Ақтау қ, Қазақстан

### **Аңдатпа**

Құбырлардың коррозиясы олардың қызмет ету мерзімі мен пайдалану сипаттамаларының төмендеуінің негізгі себептерінің бірі болып табылады. Құбырлар коррозияның дамуына ықпал ететін химиялық қосылыстар, температураның ауытқуы, механикалық жүктемелер және т.б. сияқты әртүрлі сыртқы факторлардың агрессивті әсеріне ұшырайды. Коррозиядан қорғаудың ең тиімді әдістерінің бірі - металл беті мен агрессивті сыртқы орта арасында сенімді тосқауыл құрайтын полимерлі жабындарды пайдалану. Мақалада құбырларды қорғау үшін полимерлі жабындарды қолданудың заманауи жетістіктері, олардың ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері, қолдану әдістері мен қолдану салалары қарастырылады. Эпоксидті, полиуретанды және полиэтиленді жабындар сияқты полимерлі материалдардың кең спектрі, сондай-ақ нанотехнологияларды қолдану арқылы оларды одан әрі жетілдіру перспективалары талданады.

**Түйінді сөздер:** Құбырлардың коррозиясы; полимерлі жабындар; коррозиядан қорғау; эпоксидті жабындар; полиуретанды жабындар; қаптау технологиялары; инновациялар; құбыр жүйелері.

## **THE CURRENT STATE OF PIPELINE CORROSION PROTECTION WITH POLYMER COATINGS**

**Bekbauliyeva Aliya**

Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

### **Annotation**

Corrosion of pipelines is one of the main reasons for reducing their service life and operational characteristics. Pipelines are aggressively exposed to various external factors, such as chemical compounds, temperature fluctuations, mechanical loads, etc., which contributes to the

development of corrosion. One of the most effective methods of corrosion protection is the use of polymer coatings, which form a reliable barrier between the metal surface and the aggressive external environment. The article discusses modern achievements in the field of polymer coatings for pipeline protection, their features, advantages and disadvantages, as well as application methods and applications. A wide range of polymer materials such as epoxy, polyurethane and polyethylene coatings are analyzed, as well as the prospects for their further improvement using nanotechnology.

**Keywords:** Corrosion of pipelines; polymer coatings; corrosion protection; epoxy coatings; polyurethane coatings; coating technologies; innovations; pipeline systems.