

**ОСОБЕННОСТИ И РАЗЛИЧИЯ ГЛАДКИХ И АНТИКОРРОЗИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ**

Омонкулов Сарваржон Тоштемир ўгли
Магистрант Ташкентский государственный технический
университет имени И.Каримова

Амиркулов Нуритдин Сайфуллаевич
кандидат технических наук, профессор
Ташкентский государственный технический
университет имени И.Каримова

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются особенности внутренних покрытий трубопроводов, с акцентом на сравнительный анализ гладкостных и антикоррозионных покрытий. Описываются их функциональные назначения, физико-химические свойства и влияние на эксплуатационные характеристики труб. Гладкостные покрытия направлены на снижение гидравлического сопротивления, повышение пропускной способности и предотвращение отложений на внутренней поверхности. В свою очередь, антикоррозионные покрытия обеспечивают защиту материала труб от химического и электрохимического разрушения, продлевая срок службы трубопроводных систем. В работе выявлены ключевые различия в механизмах действия, областях применения и критериях выбора данных типов покрытий. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к выбору внутреннего покрытия с учетом условий эксплуатации, транспортируемой среды и требований к надежности и долговечности трубопроводов.

Ключевые слова: Гладкостные покрытия, антикоррозионные покрытия, гидравлическая эффективность, антикоррозионная защита.

Introduction

This article examines the characteristics of internal pipeline coatings, focusing on a comparative analysis of smooth and anti-corrosion coatings. It describes their functional purposes, physical and chemical properties, and their impact on pipe performance. Smooth coatings are designed to reduce hydraulic resistance, increase flow capacity, and prevent deposits on the internal surface. Anti-corrosion coatings, on the other hand, protect the pipe material from chemical and electrochemical degradation, extending the service life of pipeline systems. The paper identifies key differences in the mechanisms of action, areas of application, and selection criteria for these coating types. It concludes that a comprehensive approach to selecting an internal coating is essential, taking into account operating conditions, the transported medium, and the reliability and durability requirements of the pipelines.

Keywords: Smooth coatings, anti-corrosion coatings, hydraulic efficiency, anti-corrosion protection.

Основная цель нанесения внутренних покрытий на трубы — продление срока службы и повышение эффективности трубопроводных систем. Существует два ключевых типа покрытий, которые часто путают: гладкостные и антикоррозионные. Хотя оба улучшают эксплуатационные характеристики, их задачи и свойства принципиально различны.

- Гладкостные (антифрикционные) покрытия: их главная задача — снижение шероховатости внутренней поверхности. Это увеличивает пропускную способность и уменьшает энергозатраты на перекачку продукта. Такие покрытия относительно тонкие и применяются для транспортировки неагрессивных или подготовленных сред, например, магистрального газа.
- Антикоррозионные покрытия: их основная задача — защита металла от химически агрессивных сред, таких как пластовая вода с высоким содержанием солей, сероводород и нефтепродукты. Эти покрытия значительно толще, они создают барьер, предотвращающий прямой контакт продукта со стенкой трубы и ее разрушение.

Гладкостные покрытия: фокус на производительности и экономии

Гладкостные покрытия разработаны для снижения гидравлического сопротивления и турбулентности потока внутри трубы. За счет идеально гладкой поверхности они позволяют транспортировать больше продукта при тех же затратах энергии. Экономическая целесообразность подтверждается конкретными техническими параметрами и нормативной базой.

Экономический эффект

Применение гладкостных покрытий обеспечивает значительную экономию. Пропускная способность трубопровода увеличивается на 5–15%, что позволяет полностью окупить затраты на нанесение покрытия в течение 3–5 лет эксплуатации. Исследования ВНИИГАЗа показали, что при снижении шероховатости до 7 мкм производительность газопровода возрастает на 8–10%.

Гладкостное покрытие

Сегодня технология активно применяется в газовой и нефтяной промышленности.

Гладкое и эластичное покрытие, устойчивое к адгезии, изменениям давления газа позволяет увеличить срок эксплуатации труб на 8-10 лет.

Недостатки внутренних гладкостных покрытий

В числе минусов гладкостных покрытий можно выделить:

- Высокую стоимость труб внутренним с гладкостным покрытием.
- Производственный процесс гладкостных покрытий трудоемкий и энергозатратный. При этом исключить шероховатости абсолютно практически невозможно.
- Внутренняя поверхность подвержена повреждениям при внешнем механическом воздействии, например очистным скребком.
- Тонкое покрытие не обеспечивает эффективную и долговременную защиту от коррозии, поэтому в агрессивной среде срок службы снижается.
- Отсутствие устойчивости покрытия к температуре сварки.

Существует два варианта защиты внутреннего слоя труб от вредоносных факторов:

- распыление антифрикционного барьера во внутренней части;

- нанесение антикоррозийной прослойки на внутреннюю поверхность.

Главная задача антифрикционного покрытия – уменьшение шероховатости внутренней поверхности трубы и увеличение пропускной способности. Ещё одно свойство – защита от коррозии путём препятствия прямому контакту агрессивных элементов с металлом. Технология была разработана в середине 1950-х годов и по сей день широко применяется в магистральных газопроводах и нефтепроводах.



Гладкое покрытие труб

При перемещении жидких нефтяных масс с примесями солей по трубопроводу, происходит отложение окаменелости, затрудняющей движение газа и нефти внутри магистрали. Горючие смеси движутся под большим давлением, что способствует ускоренному отложению осадка внутри трубопровода. Некоторые соединения могут вызывать коррозию отдельных участков магистрали, приводящую к быстрому изнашиванию труб. Локальная скорость образования ржавчины может достигать до отметки в 1,4-7 мм в год. Средний срок использования стальных изделий без защиты – 1-4 года. Эпоксидный барьер продлевает период их службы в 7-12 раз.

Гладкая прослойка обладает антифрикционной и антикоррозийной защитой, за счет чего увеличивается срок службы трубопровода и обеспечивается беспрепятственное движение нефтегазовых продуктов внутри него. Для качественной защиты газопроводов достаточно нанести слой материала толщиной в 35-75 мкм. Затраты на защитный барьер многократно окупаются в первые годы использования, так как трубопровод с эпоксидным барьером не требует ремонтных работ.

Технология нанесения

Технология нанесения защитной оболочки заключается в использовании красок на основе эпоксидной смолы, процент растворителей в которых не должен превышать 30%. Поверхность изделия подготавливается к напылению путем обезжиривания фенолосодержащим праймером, который увеличивает стойкость краски к агрессивным условиям. Лишняя влага в составе праймера должна испариться под действием невысоких температур, обеспечивая хорошее сцепление материала со сталью.

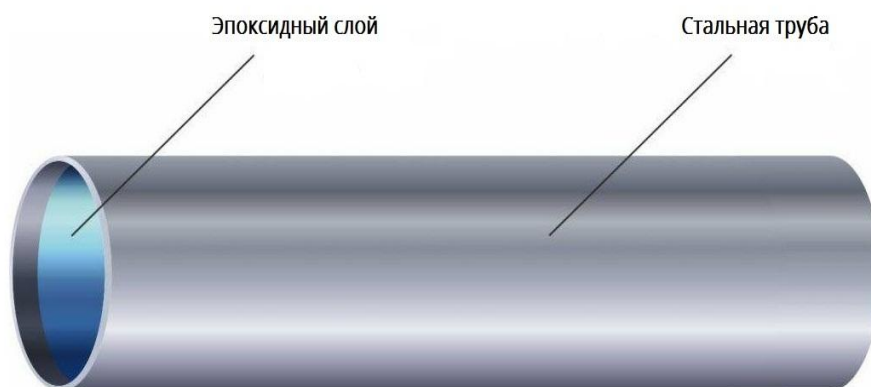


Схема нанесения гладкостного покрытия

Далее распыляется рабочая смесь равномерным слоем, толщина которого 35-70 мкм. Полимеризация покрасочного материала проводится при температуре в 40-70°C. Порошковые краски на основе эпоксидной смолы более устойчивы к воздействию высоких температур, поэтому для их затвердевания нужен нагрев до 200-220°C. Тонкая прослойка эпоксидного материала препятствует прямому контакту активных химических элементов с металлическими стенками изделия, а сниженная шероховатость обеспечивает хорошую проходимость газа и нефти.[4]

При гладкостном напылении остаются уязвимыми зоны сварных стыков, поэтому для их защиты применяются такие методы:

- локальное напыление колец на стыки;
- цинковое и алюминиевое напыление дополнительного слоя;
- поверхностное нанесение антикоррозийных сплавов.

Преимущества внутренних гладкостных покрытий

Использование стальных труб с гладкостным внутренним барьером имеет ряд существенных преимуществ перед стандартными стальными изделиями:

- Быстрая готовность к эксплуатации. После испытаний под высоким давлением должно пройти некоторое время перед использованием газопровода в работе. За это время остатки влаги оказывают разрушающее действие на металл, что требует дополнительных усилий для зачистки скопившейся грязи и ржавчины. Эпоксидный барьер ускоряет процесс испарения лишней влаги, за счёт чего трубопровод быстрее приводится в рабочее состояние;
- Экономия энергии. При сильном трении жидких нефтепродуктов о стенки трубопровода требуются большие затраты на энергию. Антифрикционное покрытие обеспечивает минимальную шероховатость и свободное прохождение масс внутри магистрали;
- Уменьшение сторонних примесей в транспортируемых продуктах. Антикоррозийная прослойка препятствует разложению металла и образованию новых химических соединений, которые ухудшают качество нефтегазовых продуктов;
- Снижение давления на сварные швы. Высокая пропускная способность способствует равномерному распределению давления внутри трубопровода, что исключает риск порыва стыков;

- Уменьшение турбулентного слоя газа, что снижает возникновение критических состояний внутри магистрали;
- Увеличение срока службы арматуры за счёт отсутствия коррозии;
- Снижение капитальных затрат. Хорошая пропускная способность позволяет использовать трубы меньшего диаметра, что значительно выгоднее.

Применение гладкостных покрытий труб

Гладкое внутреннее покрытие используется в следующих сферах:

1. Водоснабжение

- Снижение сопротивления потоку → экономия энергии насосов
- Сохранение качества питьевой воды
- Предотвращение образования накипи и биоплёнок

2. Нефтегазовая промышленность

- Уменьшение трения при транспортировке нефти и газа
- Предотвращение коррозии (особенно CO₂ и H₂S-коррозии)

3. Химическая промышленность

- Защита труб от агрессивных сред (кислоты, щёлочи)
- Увеличение срока службы оборудования

4. Энергетика (ТЭС, АЭС)

- Повышение эффективности циркуляции воды/пара
- Снижение отложений и загрязнений

Основные функции гладкостного покрытия

• **Гидравлическая эффективность**

Снижение коэффициента шероховатости → увеличение пропускной способности до 10–30%

• **Антикоррозионная защита**

Барьер между металлом и средой

• **Антиадгезионный эффект**

Меньше отложений (соли, ржавчина, органика)

• **Гигиеничность**

Важна для питьевой воды

Два основных типа внутренних покрытий

1. Полимерные покрытия

Виды:

- Эпоксидные (Fusion Bonded Epoxy — FBE)
- Полиуретановые
- Полиэтиленовые

Технология нанесения:

- Очистка поверхности (пескоструй) до Sa 2.5
- Нагрев трубы
- Напыление или заливка покрытия
- Полимеризация (отверждение)

Свойства:

- Очень низкая шероховатость ($\approx 0.01\text{--}0.03$ мм)

- Высокая адгезия
- Устойчивость к химическим веществам
- Температурная стойкость (до ~80–120°C в зависимости от типа)

Назначение:

- Питьевая вода (эпоксид сертифицированный)
- Нефтепроводы и газопроводы
- Морские трубопроводы
- Химически агрессивные среды

Преимущества:

- Максимальная гладкость → высокая пропускная способность
- Долгий срок службы (20–50 лет)
- Малый вес

Недостатки:

- Чувствительность к механическим повреждениям
- Требуется строгий контроль технологии нанесения

2. Цементно-песчаные покрытия

Технология:

- Центрифугирование внутри трубы
- Формирование слоя раствора (цемент + песок + вода)
- Твердение (гидратация цемента)

Свойства:

- Шероховатость выше, чем у полимеров ($\approx 0.1-0.3$ мм)
- Щелочная среда (pH ~12)
- Самовосстанавливающийся эффект

Назначение:

- Магистральные водопроводы
- Канализация
- Чугунные и стальные трубы большого диаметра

Преимущества:

- Высокая механическая прочность
- Дешевле полимеров
- Хорошая защита от коррозии

Недостатки:

- Более высокая шероховатость
- Большой вес
- Ограниченная стойкость к кислотам

Дополнительные виды внутренних покрытий труб

Помимо двух основных типов (полимерных и цементно-песчаных), применяются и другие:

3. Эмалевые (стеклоэмалевые) покрытия

Особенности:

- Очень гладкая поверхность
- Практически полная защита от коррозии
- Высокая химическая стойкость

Применение:

- Пищевая промышленность
- Фармацевтика
- Агрессивные химические среды

Недостаток:

- Хрупкость (чувствительность к ударам)
4. Резиновые покрытия

Особенности:

- Эластичность
- Устойчивость к абразивному износу
- Хорошее поглощение ударов

Применение:

- Транспортировка пульпы, шлама
 - Горнодобывающая промышленность
5. Керамические покрытия

Особенности:

- Очень высокая твёрдость
- Устойчивость к высоким температурам
- Отличная защита от абразива

Применение:

- Высокотемпературные трубопроводы
- Потоки с твёрдыми частицами

Виды коррозии и защита покрытиями

Внутренние покрытия защищают трубы от:

- Электрохимической коррозии
- Гальванической коррозии
- Микробиологической коррозии (MIC)
- Газовой коррозии (CO₂, H₂S)

Особенно важно для нефтегазовой отрасли.

Критерии выбора покрытия

1. Тип среды

- Вода, нефть, газ, кислоты

2. Температура

- Полимеры: до ~120°C
- Керамика: значительно выше

3. Давление

- Важно качество адгезии

4. Состав потока

- При наличии абразива → керамика или резина

5. Экономика

- Стоимость нанесения
- Срок службы
- Затраты на обслуживание

Контроль качества покрытий

Основные методы:

- Испытание на адгезию
- Измерение толщины слоя
- Проверка на пористость
- Искровой тест (holiday test) — выявление дефектов

Проблемы при эксплуатации

Возможные дефекты:

- Отслоение покрытия
- Образование трещин
- Износ (эрозия, абразив)
- Химическое разрушение

Профилактика:

- Правильная подготовка поверхности
- Контроль технологии нанесения
- Регулярная диагностика

Современные тенденции

- Нанопокрyтия с ультранизкой шероховатостью
- Антибактериальные покрытия (для питьевой воды)
- Экологически безопасные материалы
- Самовосстанавливающиеся покрытия (self-healing)

Гладкостные внутренние покрытия труб:

- уменьшают гидравлические потери
- защищают от коррозии
- увеличивают срок службы трубопроводов

Правильный выбор покрытия напрямую влияет на надёжность и экономичность всей системы.[8]

Таким образом, выбор внутреннего покрытия труб является ключевым фактором, определяющим надёжность, долговечность и эффективность трубопроводной системы. Гладкостные покрытия способствуют снижению гидравлических потерь и повышению пропускной способности, тогда как антикоррозионные обеспечивают защиту от разрушения и продлевают срок службы труб.

Современные технологии, включая нанопокрyтия, антибактериальные и самовосстанавливающиеся материалы, а также экологически безопасные решения, открывают новые возможности для повышения качества и безопасности эксплуатации трубопроводов.

Комплексный подход и правильный выбор типа покрытия с учётом условий эксплуатации позволяют значительно снизить затраты на обслуживание и обеспечить стабильную и эффективную работу системы в долгосрочной перспективе.[10]

Список использованной литературы

1. Зенцов В. Н., Лапшакова И. В., Шингаркина О. В. Защита от коррозии трубопроводов, резервуаров и оборудования. — М.: Инфра-Инженерия, 2023.

2. Романова Л. В., Стариков А. Н. Защита трубопроводов от коррозии: учебное пособие. — Владимир: ВлГУ, 2023.
3. Абулгафаров С. В., Гринь В. Г., Свистунов Ю. А. Бестраншейные технологии ремонта трубопроводов. — М., 2010.
4. Бекбаулиева А. А. Современное состояние защиты трубопроводов от коррозии полимерными покрытиями // Научная статья, 2024.
5. Залесова А. В., Думицкая Н. Г. Особенности применения внутритрубных гладкостных покрытий // Инновационная наука. – 2017. – №. 4-3. – С. 35-39.
6. Думицкая Н. Г., Соколов А. А. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ВНУТРЕННИХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ // Лучшая студенческая статья 2018. – 2018. – С. 50-73.
7. Чугунов М. Э. ГИДРАВЛИЧЕСКИ ГЛАДКИЕ ТРУБЫ. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛАДКОСТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ // РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ: МЕХАНИЗМ ВЫБОРА И РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТОВ. – 2018. – С. 72-80.
8. Герасимов В. В. Внутреннее гладкостное и антикоррозионное покрытие для магистральных газопроводов общего назначения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – №. 7-8. – С. 102-109.
9. Харисов Р.А., Кантемиров И.Ф. Оценка фактической степени напряженности элементов трубопроводных систем при эксплуатации // НТЖ «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов» / ИПТЭР. - Уфа, 2011. - Вып. 3 (85). - С. 84-90.
10. Кантемиров И.Ф., Кравченко С.В. Метод оценки ресурса конструктивных элементов нефтегазовых резервуаров по критериям статической и циклической трещиностойкости // НТЖ «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов» / ИПТЭР. - Уфа, 2010. - Вып. 1 (79). - С. 104-106.