

УДК 621.644:620.197-027.31

DOI 10.52928/2070-1683-2026-44-1-85-89

**АНАЛИЗ ТРУБ С ВНУТРЕННИМ АНТИКОРРОЗИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ И ИХ СРАВНЕНИЕ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ТРУБАМИ ДЛЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНКО, А.С. МАХРАНКОВ*  
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

*Исследуются основные методы внутритрубной антикоррозионной защиты промысловых трубопроводов. Проводится сравнение металлических трубопроводов с неметаллическими с выявлением основных преимуществ и недостатков. На основании проведенного анализа определены основные признаки, которые помогут создать классификацию неметаллических промысловых трубопроводов.*

**Ключевые слова:** *коррозия, внутритрубное антикоррозионное покрытие, металлический трубопровод, неметаллический трубопровод, промысловый трубопровод.*

**Введение.** В процессе накопления многовекового практического знания и опыта человек осознал, что именно трубчатая конструкция является одной из самых совершенных как по прочностным характеристикам, так и по функциональным признакам, поскольку может обеспечивать постоянную, легко регулируемую целевую подачу продукта в различных геологических и геодезических условиях и в нужном направлении в требуемые сроки. Трубопроводы позволяют обеспечить в процессе эксплуатации направленное, необратимое и закономерное движение транспортируемой среды.

Существуют тысячи километров трубопроводов, связанных с нефтяными скважинами, которые работают в десятках стран. Все они различаются по форме, размеру и степени сложности. Металлические трубопроводы являются основной частью нефтяной отрасли. Нефтепроводы образуют системы сбора, которые соединяют скважины с технологическими объектами. По данным Международного энергетического агентства в 2025 г. в мире было добыто 38 млрд. баррелей, из них более 45% было транспортировано с помощью нефтепроводов.

Старение или повреждение нефтепроводов создает многочисленные проблемы для нефтяной промышленности во всем мире. Вне зависимости от того, трубопровод подземный или находится на поверхности, все металлические трубопроводы подвергаются воздействию различных физических, климатических и химических факторов, которые могут вызвать коррозию.

Обычно под коррозией понимается самопроизвольное разрушение металлов или сплавов вследствие их химического, электрохимического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой (от позднелатинского слова *corrosio* – «разъедание»). Среда, в которой металл подвергается коррозии, называется коррозионной или агрессивной. При этом процессе образуются продукты коррозии: химические соединения, содержащие металл в окисленной форме (ржавчина, окалина) [1].

Коррозия нефтепроводов не только снижает эксплуатационный срок службы трубопроводов, но также может выступать основной причиной аварий и инцидентов на производстве. В настоящее время после укладки трубопровода в грунт и запуска его в эксплуатацию можно наблюдать повреждения трубопровода от коррозии уже через 5–8 лет.

Внутренняя коррозия является одной из наиболее частых причин выхода из строя промысловых трубопроводов. Скорость внутренней коррозии промысловых трубопроводов часто превышает скорость внешней, достигая высоких показателей (более 0,5–1,0 мм/год) из-за транспортировки агрессивной среды. Внешняя коррозия медленнее (менее 0,03–0,1 мм/год), но ускоряется в агрессивных почвах, завися от качества изоляции [2].

Целью данной статьи является обеспечение наибольшей защиты трубопровода от внутреннего коррозионного воздействия.

Для достижения данной цели необходимо решить ряд задач:

- 1) выполнить обзор известных методов, позволяющий увеличить срок службы промысловых трубопроводов;
- 2) сделать анализ способов внутренней защиты стальных труб от внутреннего воздействия;
- 3) провести сравнение труб с внутренним антикоррозионным покрытием с неметаллическими трубами для промысловых трубопроводов.

Объект данного исследования – неметаллическая труба промыслового трубопровода, а предмет – внутреннее воздействие перекачиваемой среды на неметаллический промысловый трубопровод.

**Основная часть.** Существенным недостатком металлических труб является их подверженность коррозионным разрушениям. Это ведет к сокращению срока службы трубопровода, огромной потере металла, увеличению шероховатости внутренней поверхности стенок труб, что вызывает дополнительные энергозатраты на перекачку жидкости.

Зачастую трубопровод находится в сложных климатических условиях или условиях агрессивной коррозионной среды. В соответствии с этим защита от коррозии нефтепроводов является одной из основных задач при прокладке новых трубопроводов и эксплуатации уже существующих.

Основная проблема нефтедобывающих компаний – это аварии из-за коррозии на промысле и, как следствие, уменьшение срока эксплуатации промысловых нефтепроводов.

Существует несколько способов увеличения срока службы промысловых трубопроводов:

- 1) применение ингибиторов – этот способ не является целью данного исследования;
- 2) защита стальных труб от внутреннего воздействия – данный способ будет затронут в данной статье;
- 3) замена стальных труб на неметаллические – именно этот путь будет основным рассмотренным в данной статье.

Внутритрубное покрытие должно обладать высокими защитными свойствами, обеспечивающими сохранность труб на период транспортировки, а также иметь высокую долговечность в процессе эксплуатации.

Основные задачи внутреннего покрытия труб схожи с задачами наружных покрытий, а именно: обеспечение целостности трубы при ее транспортировке до места установки или хранения, повышение эксплуатационного срока службы трубопровода и другие.

Также внутреннее защитное покрытие трубопровода способствует снижению отложений парафина на стенках трубопроводов, тем самым увеличивает пропускную способность, повышает общую надежность эксплуатируемого нефтепровода и облегчает процессы очистки и контроля качества нефтегазопроводов.

Основными параметрами, определяющими выбор конкретного типа изоляционного покрытия, являются защитные свойства покрытия, срок службы покрытия, технологические параметры и режимы эксплуатации трубопровода. Наиболее популярными в использовании считаются лакокрасочные материалы, в основе которых находятся эпоксидные, модифицированные эпоксидные, а также фенолформальдегидные смолы. Также широко применяются эпоксидные порошковые материалы, нанесение которых происходит поверх фенольного праймера. Немаловажным фактором является правильный выбор технологии нанесения покрытия. Он зависит от длины участка трубопровода, типа покрытия, диаметра трубы и т.д.

Трубы с внутренним антикоррозионным покрытием можно классифицировать по назначению [3]:

1. Антикоррозионные покрытия применяются для внутритрубной изоляции тех труб, которые транспортируют коррозионно-агрессивные среды. В нефтяной промышленности к таким средам относятся водонефтегазовые эмульсии, пластовая вода, оборотная вода системы поддержания пластового давления.

2. Гладкостные покрытия применяют, как правило, на магистральных нефтегазопроводах при транспортировке неагрессивных продуктов.

На сегодняшний день наиболее распространенные внутритрубные антикоррозионные покрытия можно разделить на три основные группы<sup>1</sup>:

1. Покрытия из силикатных материалов (стеклоэмалевые покрытия).

2. Покрытия из полимерных материалов, которые в зависимости от физического состояния в процессе их нанесения подразделяются на:

- 2.1. Лакокрасочные материалы (представляющие собой растворы полимеров).

- 2.2. Порошковые материалы (наносимые в виде расплавов).

- 2.3. Пленочные.

3. Комбинированные покрытия (полимерцементная изоляция).

Данные способы помогают уменьшить шероховатость труб, что приводит к снижению сопротивляемости.

Но эти способы имеют и свои отрицательные эффекты, а именно:

- 1) увеличение стоимости строительства в связи с более дорогим производством труб;

- 2) сложность нанесения покрытия: данные покрытия наносятся в заводских условиях;

- 3) сложность монтажа труб для сварки труб с внутренним покрытием: необходим обученный персонал и специальная подготовка труб перед сварочными работами.

В современном быстро развивающемся мире важна не только экологическая безопасность, но и увеличение скорости строительства промысловых нефтепроводов при снижении капитальных и эксплуатационных затрат. Данную проблему могут решить неметаллические трубопроводы.

В настоящее время новые конструкционные материалы нашли применение при изготовлении силовых элементов строительных конструкций, арматуры и напорных трубопроводов, рабочих колец центробежных насосов, резервуаров и емкостей и т.д.

В последнее время наблюдается растущий интерес к применению неметаллических материалов для строительства промысловых трубопроводов. Наиболее популярными неметаллическими материалами для строительства промысловых трубопроводов являются композитные материалы на основе углеродного волокна и полимерные материалы.

Полимерные трубопроводы получили свое широкое распространение благодаря их высокой стойкости к коррозии и агрессивным средам. Эти материалы обладают хорошей гибкостью, что важно при прокладке в сложных рельефных условиях, а также легкостью, что упрощает транспортировку и монтаж.

Композитные материалы, армированные углеродными или стеклянными волокнами, обеспечивают еще большую прочность и стойкость к давлению по сравнению с традиционными полимерными трубами. Эти материалы характеризуются низкой массой и высокой жесткостью.

<sup>1</sup> Анализ пассивных методов защиты от коррозии магистральных нефтегазопроводов. URL: [https://studbooks.net/2572477/tovarovedenie/vnutrennie\\_pokrytiya\\_truboprovodov](https://studbooks.net/2572477/tovarovedenie/vnutrennie_pokrytiya_truboprovodov).

Классифицировать неметаллические промышленные трубопроводы можно по следующим признакам:

1. По материалу изготовления:
  - полимерные материалы;
  - композитные материалы.
2. По условиям прокладки:
  - подземная прокладка (открытый (траншейный) способ, бесканальная, бестраншейная прокладка (закрытый способ);
  - наземная прокладка (укладка на специально подготовленное грунтовое основание);
  - надземная прокладка (опоры и эстакады – трубы размещаются выше уровня земли (на стойках, мачтах).
3. По наличию защитного покрытия:
  - без защитного покрытия (для материалов, устойчивых к воздействию окружающей среды);
  - с защитным покрытием (для защиты материала от механических повреждений, ультрафиолета или агрессивных сред).
4. По назначению:
  - выкидные линии – это трубопроводы для перекачивания продуктов скважин (нефть, природный газ, примеси) до групповой замерной установки;
  - нефтегазосборные коллекторы – это трубопроводы для перекачивания от групповой замерной установки до дожимной насосной станции;
  - нефтесборные коллекторы – это трубопроводы, расположенные от дожимной насосной станции до центрального пункта сбора;
  - газосборный коллектор – это трубопровод для перекачивания газа от пункта сепарации до компрессорной станции;
  - промышленные газопроводы для сбора попутного нефтяного газа – это газопроводы, работающие при давлении газа выше атмосферного и вакуумные газопроводы;
  - промышленные ингибиторопроводы – это трубопроводы, служащие для подачи ингибиторов и других химических реагентов в скважины и на другие объекты обустройства нефтяных, нефтегазовых и газовых месторождений.
  - промышленные водопроводы – это трубопроводы, предназначенные для подачи воды к нагнетательным скважинам с целью поддержания пластового давления и для сбора пластовых вод, добытых вместе с нефтью, в водоносные горизонты.
5. По диаметру данная классификация позволит нам распределить трубопроводы по применимым материалам:
  - 1-класс – трубопроводы номинальным диаметром 450 мм и более – на данный момент трубы больших диаметров экономически выгодно производить из стали, так как трубы больших диаметров и не уступающие своими прочностными характеристиками из неметаллических материалов дорогие в производстве;
  - 2-класс – трубопроводы номинальным диаметром от 200 мм до 450 мм – согласно ГОСТ Р 59411-2021 «Трубопроводы промышленные из стеклопластиковых труб. Правила проектирования и эксплуатации» для стеклопластиковых труб максимально допустимый номинальный диаметр 450 мм;
  - 3-класс – трубопроводы номинальным диаметром до 200 мм включительно – согласно ГОСТ Р 70623-2023 «Трубопроводы промышленные. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации» для полимерных армированных труб максимально допустимы номинальный диаметр 200 мм.
6. По рабочему давлению данная классификация позволит нам распределить трубопроводы по применимым материалам:
  - 1-класс – при рабочем давлении свыше 21,0 МПа – при данном давлении необходимо применять стальные трубопроводы;
  - 2-класс – при рабочем давлении свыше 10,0 МПа до 21,0 МПа включительно – согласно ГОСТ Р 59411-2021 «Трубопроводы промышленные из стеклопластиковых труб. Правила проектирования и эксплуатации» для стеклопластиковых труб максимальное рабочее давление не превышает 21,0 МПа;
  - 3-класс – при рабочем давлении свыше 2,5 МПа до 10,0 МПа включительно – согласно п.7.1.1 ГОСТ Р 70623-2023 «Трубопроводы промышленные. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации»;
  - 4-класс – при рабочем давлении свыше до 2,5 МПа включительно – согласно п.7.1.1 ГОСТ Р 70623-2023 «Трубопроводы промышленные. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации».

Предлагаемая классификация поможет определиться с классом неметаллического трубопровода по давлению и диаметру, а также выбрать способ прокладки и необходимость применения изоляции.

В таблице 1 сведены данные по неметаллическим трубам, металлическим трубам с внутренним антикоррозионным покрытием и без антикоррозионного покрытия.

Таблица 1. – Сравнение металлических труб с внутритрубным антикоррозионным покрытием и без покрытия с неметаллическими трубами

Материал трубопровода	Металлические			Композитные	Полимерные
	Без внутреннего покрытия	Покрытия из силикатных материалов	Покрытия из полимерные материалов		
Внутренне покрытие	–	Стеклоэмалевые	Порошковые, лакокрасочные	Стеклопластиковые трубы	Полимерно-армированные трубы
Материал покрытия	–	Стеклоэмалевые	Порошковые, лакокрасочные		
Максимальный диаметр, мм	1420,00	530,00	530,00	450,00	200,00
Максимальное давление, МПа	32,00	10,00	10,00	21,00	32,00
Защита сварных соединений	В заводских и полевых условиях	В заводских и полевых условиях	В заводских условиях	Сборочный стык	Фланцевое и муфтовое соединение
Преимущества	Стоимость сварочных работ ниже, чем у труб с внутренним покрытием	Не разрушается в среде с большим содержанием сероводорода	Большой выбор производителей и материалов	Коррозионная стойкость, высокий срок эксплуатации, возможность демонтажа без повреждения труб	Коррозионная стойкость, долговечность, меньшая совокупная стоимость строительства и эксплуатации
Недостатки	Подверженность металла коррозии	Высокая стоимость сварных соединений	Подверженность металла коррозии в зоне сварных соединений в полевых условиях	Низкая трещиностойкость при действии нагрузок поперек волокон	Большие динамические нагрузки вызывают деформацию тела трубы

В таблице 1 можно увидеть, что основное преимущество неметаллических трубопроводов заключается в их неподверженности коррозии как внешней, так и внутренней, благодаря чему увеличивается их срок эксплуатации. Также немаловажными преимуществами неметаллических трубопроводов являются скорость их монтажа и возможность демонтажа без повреждения труб, а также меньший объем земляных работ, чем у металлических трубопроводов при одинаковой пропускной способности, что увеличивает скорость строительства. При этом остальные характеристики не уступают трубопроводам из металла. Но при всех преимуществах неметаллические трубопроводы хуже справляются с большими перепадами давления. Также отсутствие применения неметаллических труб для строительства промысловых трубопроводов обусловлено недостатком нормативной документации, регламентирующей проектирование, строительство и эксплуатацию неметаллических трубопроводов.

**Заключение.** Результатом данной работы является рассмотрение возможности применения промысловых нефтепроводов из неметаллических материалов. Проведено сравнение металлических трубопроводов с антикоррозионным покрытием и без него с трубопроводами из стеклопластиковых и полимерно-армированных труб. Проведен анализ существующих классификаций для металлических промысловых трубопроводов с внутритрубным антикоррозионным покрытием, выявлены признаки, которые позволили создать классификацию для неметаллических трубопроводов, которые в дальнейшем помогут при выборе материалов для промысловых трубопроводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клышко И.Н., Кульбей А.Г. Системы электрохимической защиты объектов трубопроводного транспорта. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – 192 с.
2. К вопросу о коррозии промысловых трубопроводов / С.М. Ватузов, И.М. Ванчугов, К.С. Резанов и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2023. – № 5(145). – С. 106–122. DOI: 10.17122/nij-oil-2023-5-106-122.
3. Виды внутренних полимерных покрытий трубопроводов и их деление по назначению [Электронный ресурс] / В.А. Залетаев, Д.В. Муленко, В.В. Сенякин и др. // Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум – 2021». – URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018026553> (дата обращения 11.09.2021).

## REFERENCES

1. Klyshko, I.N., & Kul'bei, A.G. (2006). *Sistemy elektrokhimicheskoi zashchity ob"ektov truboprovodnogo transporta*. Novopolotsk: PGU. (In Russ.).
2. Vatzov, S.M., Vanchugov, I.M., Rezanov, K.S., Avtomonov, P.Yu., Tanasenko, M.S., & Shestakov, R.A. (2023). K voprosu o korrozii promyslovykh truboprovodov. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov*, 5(145), 106–122. DOI: 10.17122/ntj-oil-2023-5-106-122.
3. Zaletaev, V.A., Mulenko, D.V., Senyakin, V.V., & Borovskaya, L.V. (2021). Vidy vnutrennikh polimernykh pokrytii truboprovodov i ikh delenie po naznacheniyu. In *Materialy XIII Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii «Studencheskii nauchnyi forum – 2021»*. URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018026553>.

Поступила 03.03.2026

**ANALYSIS OF PIPES WITH AN INTERNAL ANTI-CORROSION COATING  
AND THEIR COMPARISON WITH NON-METALLIC PIPES FOR INDUSTRIAL PIPELINES**

**L. SPIRIDENOK, A. MAHRANKOV**  
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*The main methods of in-line anti-corrosion protection of field pipelines are investigated. A comparison of metal pipelines with non-metallic ones is carried out to identify the main advantages and disadvantages. Based on the analysis, the main features are identified that will help create a classification of non-metallic field pipelines.*

**Keywords:** *corrosion, in-line anti-corrosion coating, metal pipeline, non-metallic pipeline, field pipeline.*