

Преимущество порошковых покрытий для защиты НКТ

М.В. Швецов
директор¹

Г.Б. Бикбов
директор²

И.Ф. Калачев
д.т.н., первый заместитель директора по научно-производственному обеспечению²

¹БМЗ ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Бугульма, Россия

²ОО «ТТД Татнефть», Лениногорск, Россия

В статье рассмотрены актуальные проблемы эксплуатации НКТ и современные способы защиты стальной поверхности труб от негативного воздействия в процессе эксплуатации. Подробно рассмотрена эффективность защитных покрытий НКТ и приведена сравнительная характеристика различных типов покрытий внутренней поверхности НКТ.

Ключевые слова

насосно-компрессорные трубы, НКТ, системы поддержания пластового давления, ППД, добывающие скважины, нагнетательные скважины, порошковые покрытия, коррозионностойкость, антикоррозионное покрытие, АСПО, солеотложения

Эксплуатация насосно-компрессорных труб (НКТ) связана с целым рядом негативных факторов, которые сказываются на эффективности работы добывающих и нагнетательных скважин, конечной прибыльности добычи нефти и газа. Необходимость защиты внутренней поверхности НКТ от коррозии, абразивного воздействия, осаждения солей и асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) доказывает практика применения НКТ на скважинах крупнейших нефтедобывающих компаний.

Область применения НКТ

НКТ необходимы для подъема нефти и газа, нагнетания замещающих жидкостей и сжатого воздуха для поддержания пластового давления и проведения многих видов ремонтных работ на нефте- и газодобывающих скважинах. С помощью НКТ осуществляются геолого-технические мероприятия, проводятся исследовательские работы, регулируется режим работы скважины. Это ключевой элемент, без которого невозможно освоение и эксплуатация скважин.

Эксплуатация НКТ связана с высоким давлением, перепадами температур, контакта с транспортируемой средой, которая образует отложения на внутренней поверхности. Это приводит к увеличению гидравлического сопротивления транспортирующей среды и снижению эффективности добычи.

Но наибольший ущерб наносит коррозия внутренних поверхностей трубопроводов, которые находятся в непосредственном контакте с агрессивными перекачиваемыми жидкостями. Наличие солей, сероводорода, кислорода и углекислого газа в транспортируемом продукте, абразивное воздействие и другие факторы способствуют возникновению внутренней коррозии. Что снижает срок службы трубопровода, его пропускную способность, увеличивает стоимость эксплуатации и технического обслуживания, а также расходы на прокачку жидкостей и газов.

Необходимость защитного покрытия доказывает практика

Чтобы снизить влияние негативных факторов и продлить срок службы НКТ, на

поверхность стальных труб наносится полимерное покрытие. Оно дает защиту от коррозии и коррозионного растрескивания и улучшает характеристики потока. За счет низкой адгезии затрудняется формирование солевых, асфальто-смолистых и парафиновых отложений. Отложения на гладкой полимерной поверхности легко смываются перекачиваемой жидкостью, что снижает гидравлическое сопротивление транспортирующей среды и повышает эффективность добычи.

Как известно, наиболее высокий уровень коррозионной активности имеют жидкости системы поддержания пластового давления (ППД). Срок службы работающих на сточной воде НКТ без покрытия внутренних поверхностей труб не превышает 5 лет. Как показали опытные работы, срок службы НКТ с полимерным покрытием составляет более 10 лет.

Об эффективности полимерного покрытия говорит повсеместная замена устаревших НКТ на трубы с таким покрытием. К примеру, в ПАО «Татнефть» с 2006 года активно реализуется программа по замене труб в нагнетательных скважинах на НКТ в антикоррозионном исполнении (с ПЭП). Ежегодно в системе ППД не менее 1000 скважин оборудуется такими НКТ. В настоящее время более 80% фонда нагнетательных скважин сточной воды уже оснащены НКТ с покрытием.

Современные технологии нанесения покрытий на НКТ

На практике, как правило, применяются порошковые и жидкие лакокрасочные материалы. Порошковые покрытия представляют собой одну из наиболее совершенных технологий хотя бы потому, что позволяют сделать процесс производства практически безотходным, а технологию — экологичной и предпочтительной в современных условиях.

Кроме того, по сравнению с окрашиванием жидкими материалами, порошковые краски имеют целый ряд преимуществ:

- они не требуют подготовки (смешения, разбавления, перемешивания, регулирования вязкости), а следовательно, уменьшается количество технологических ошибок при нанесении покрытий;



Рис. 1 — Очищенная внутренняя поверхность НКТ для полимерного покрытия



Рис. 2 — НКТ с нанесённым праймером на внутреннюю поверхность



Рис. 3 — НКТ с нанесённым покрытием на внутреннюю поверхность

№	Система покрытия	Технология нанесения					Эксплуатация			
		Толщина (мкм)	Расход м ² /кг	Режимы отвержд. (°С)	Адгезия МПа	Диэлектр. проч. кВ/мм	при температуре	pH	H ₂ S До%	Скор. коррозии (С). Срок службы покрытия (С-лет)
1	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. П-ЭП-585 (Эпоксидный)	15 300	15 2	20 - 160	22	11	от -40°С до +60°С	4-8	5	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
2	1. Грунт EP-10 Primer (Эпоксифенольный) 2. П-ЭП-585 (Эпоксидный)	20 300	18 2	20 160	20	10	от -40°С до +80°С	4-8	5	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
3	1. Грунт EP-10 Primer (Эпоксифенольный) 2. CORVEL 10600 (Эпоксидный)	20 300	18 1,2	20 160	21	22	от -40°С до +170°С	4-8	5	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
4	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. CORVEL 10600 (Эпоксидный)	15 300	15 1,2	20 160	25	20	от -40°С до +170°С	5-9	5	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
5	1. Грунт EP-10 Primer (Эпоксифенольный) 2. Scotchkote 6258 (Эпоксидный)	20 300	18 1,2	20 180	28	28	от -40°С до +130°С	4-9	7	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
6	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. Scotchkote 6258 (Эпоксидный)	15 300	15 1,2	20 180	30	29	от -40°С до +130°С	4-9	7	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
7	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. Scotchkote 6171XC (Эпоксидный)	15 300	15 1,2	20 180	36	31	от -40°С до +90°С	5-9	7	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
8	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. ИНФРАЛИТ EP 8024-10 AR9318 TW-9302 (Эпоксидный)	15 300	15 1,3	20 200	28	31	от -80°С до +130°С	4-10	5	C1-12; C2-11; C3-9; C4-6; C5-4
9	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. ТК 216 (Эпоксидный)	15 300	15 1,2	20 200	45	40	от -73°С до +130°С	4-12	20	C1-20; C2-15; C3-12; C4-9; C5-8
10	1. Грунт ТК 8007 (Эпоксифенольный) 2. ТК236 (новолачный)	15 300	15 1,2	20 200	42	43	от -70°С до +156°С	3-13	36	C1-20; C2-15; C3-12; C4-10; C5-8

Примечание:

1. Скорость коррозии стальных конструкций при агрессивности транспортируемой среды в трубопроводе:

- C1 — скорость коррозии стальной трубы без покрытия менее 0,01 мм/год (не агрессивная);
- C2 — скорость коррозии стальной трубы без покрытия до 0,5 мм/год (слабоагрессивная);
- C3 — скорость коррозии стальной трубы без покрытия до 1 мм/год (умеренно агрессивная);
- C4 — скорость коррозии стальной трубы без покрытия до 10 мм/год (агрессивная);
- C5 — скорость коррозии стальной трубы без покрытия более 10 мм/год (сильноагрессивная).

2. Срок службы покрытия определяется при соблюдении всех требований разработчиков материалов и технологии нанесения покрытия, хранения, сооружения трубопроводов и их эксплуатации.

Таб. 1 — Сравнительные характеристики НКТ с различными типами защитного покрытия

- получение требуемой толщины покрытия ограничивается однослойным нанесением;
- обеспечивается 100% использование порошка;
- снижаются энергетические затраты на производство покрытий;
- обеспечивается возможность механизации и автоматизации процесса производства покрытий;
- достигается более высокое качество покрытий и улучшение эксплуатационных свойств (долговечность, кислотостойкость, глянец, шероховатость);

- отсутствуют экологически вредные выбросы при нанесении покрытия и при эксплуатации.

Конечная стоимость порошкового покрытия обычно бывает ниже, чем стоимость жидких аналогов. Кроме того, несмотря на кажущееся сходство «эпоксидок», они сильно различаются по своим свойствам. С точки зрения технологии, экономики и экологии, порошковые лакокрасочные материалы можно смело назвать наиболее оптимальным вариантом.

Стоит отметить, что НКТ, линейные и буровые трубы с современным защитным

полимерным покрытием давно и успешно выпускаются российскими компаниями. Одним из крупнейших производителей труб в антикоррозионном исполнении (рис. 3) в России является структурное подразделение ПАО «Татнефть» Бугульминский машиностроительный завод. В цехах предприятия уже более 18 лет производятся НКТ с порошковыми эпоксидными покрытиями. В 1997 и 2000 годах ПАО «Татнефть» были закуплены специализированные линии по производству труб с внутренним защитным покрытием фирмы «Тьюбскоп Ветко Москоу».

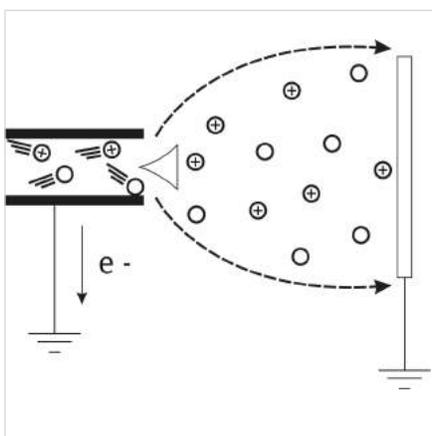


Рис. 4 — Трибостатическое напыление (зарядка трением)



Рис. 5 — Электросаждения порошка на внутреннюю поверхность НКТ

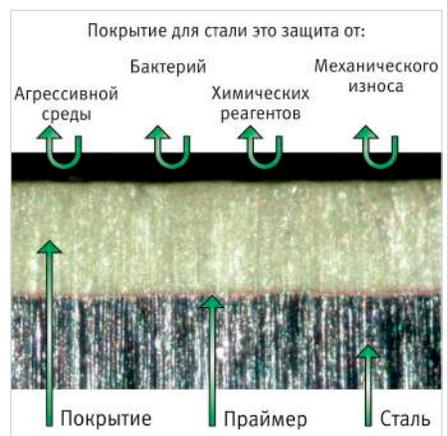


Рис. 6 — Микрошлиф стальной трубы с покрытием

И с 2000 г. Бугульминский машиностроительный завод перешел на выпуск НКТ с внутренним полимерным покрытием отечественного производства — порошковую краску П-ЭП-585 производства ОАО НПФ «Пигмент» (г. С.-Петербург).

Факторы, влияющие на качество порошкового покрытия стальной поверхности

Характеристики покрытия определяются составом материала и соблюдением технологии нанесения. При выборе порошковых материалов основным критерием является стойкость к условиям эксплуатации трубопровода — рабочей температуре, давлению, химическому составу. Для эффективной защиты НКТ покрытие должно иметь низкую влаго- и кислородопроницаемость, высокие механические характеристики, высокую и стабильную во времени адгезию покрытия к стали, стойкость к катодному отслаиванию, хорошие диэлектрические характеристики, устойчивость к УФ-лучам и тепловому старению.

Для качественного нанесения порошкового покрытия необходима тщательная подготовка поверхности и нанесение праймера (рис. 1, 2). Несоблюдение технологии приводит к тому, что покрытие будет иметь плохую адгезию к стальной поверхности труб и как следствие к растрескиванию или расслоению защитного слоя и развитию коррозионных процессов на стальной поверхности. Многолетний опыт применения полимерных покрытий показывает, что их долговечность более чем на 70% определяется качеством подготовки поверхности. При этом покрытие, нанесенное на очищенную абразивным способом с удалением солей и обезжиренную поверхность, будет более чем в три раза долговечным, чем покрытие, нанесенное на некачественно подготовленную поверхность.

Существенно влияют на долговечность покрытий метод окрашивания, условия нанесения покрытия и режим отверждения. Более надежными считаются покрытия, нанесенные методом трибостатического напыления (рис. 4, 5). Наиболее устойчивые к воздействию агрессивных сред формируются методом горячего отверждения покрытия. Это объясняется тем, что при повышенных температурах обеспечивается формирование более плотной структуры.

Также важным параметром является толщина покрытия, от которого зависит скорость проникновения агрессивных агентов к поверхности металла. Поэтому при эксплуатации покрытий в условиях с различными параметрами, его толщина устанавливается в соответствии со степенью агрессивности среды (рис. 6). Так, рекомендуемая минимальная толщина внутреннего покрытия труб

для транспортирования неагрессивной среды — не менее 120 мкм, слабоагрессивной — не менее 150 мкм, морской — 200 мкм, химической и нефтепромысловой агрессивной среды — не менее 300 мкм.

Вместе с тем при излишней толщине в покрытии могут возникать внутренние напряжения, приводящие к растрескиванию. Толщина покрытия должна гарантировать отсутствие капиллярной проницаемости, т.е. быть несколько больше критической толщины. Для различных условий эксплуатации повышение толщины покрытия больше критической колеблется в 1,5–5 раз. Для наибольшей надежности и долговечности этот коэффициент должен подбираться опытным путем квалифицированными специалистами.

Таким образом, оптимальный выбор технологических операций и правильный подбор материалов гарантирует долговечность и хорошие физико-механические свойства покрытий труб. Дополнительные затраты на нанесение внутреннего покрытия труб, согласно всех требований технологии, окупается за счёт вышеперечисленных преимуществ через 12–15 месяцев работы трубопровода.

Между тем следует заметить, что технологий для всеобъемлющего применения не существует и выбор подходящего материала — всегда компромисс. Каждое покрытие соответствует определенным условиям эксплуатации труб, и выполняет требуемые функции. Так, например, порошковое покрытие нового поколения ТК236, на основе смолы Новолак, разработано специально для эксплуатации труб в экстремально агрессивной среде с содержанием H_2S до 30% (об.) и рабочей температурой до 204°C. Другое порошковое покрытие ТК70ХТ является эффективным решением для защиты НКТ от коррозии в условиях добычи, сопровождающейся внутренним механическим трением — добыча с помощью ШГН, а также обладает стойкостью к многократному проведению соляно-кислотных обработок.

Выводы

Эффективность применения НКТ с внутренним покрытием складывается за счет:

1. увеличения срока службы НКТ более чем в 2 раза;
2. уменьшения отложений на внутренней поверхности более чем на 80%;
3. снижения гидравлических потерь транспортируемого продукта по трубопроводам из-за уменьшения шероховатости на внутренней поверхности труб и уменьшения силы поверхностного натяжения между жидкостью и покрытием повышается КПД трубного лифта от 10 до 25% (в зависимости от материала покрытия и диаметра НКТ).

Для создания высокотехнологичного современного и конкурентоспособного оборудования специалистами БМЗ были освоены новые технологии:

1. Литейное производство

- Изготовление отливок из чугуна и стали до 1 000 кг.

2. Механическая обработка

- Обработка крупногабаритных корпусных деталей сложной конфигурации (размерами до 3000x2000x1000 мм).
- Изготовление деталей типа «вал» диаметром до 500 мм, длиной до 3 000 мм (токарная обработка и шлифование).
- Обработка деталей типа «тел вращения» (диски, фланцы, муфты и подобные) и деталей сложной конфигурации.
- Изготовление цилиндрических (прямоугольных, косозубых, шевронных) зубчатых колес и вал-шестерен, передач с зацеплением Новикова и эвольвентным, диаметром от 50 до 2 000 мм и модулем до $m=20$, зубчатого колеса и червяка червячной передачи.

3. Термическая обработка деталей

- Закалка деталей и инструмента весом до 620 кг, диаметром до 450 мм и длиной до 500 мм.
- Закалка, отжиг и нормализация деталей и заготовок длиной до 13 000 мм.
- Отжиг крупногабаритных деталей и сварных конструкций, нормализация, высокий отпуск диаметром до 3 000 мм и длиной до 13 000 мм.
- Индукционная закалка деталей диаметром до 720 мм и высотой до 60 мм.

4. Сварка

- Автоматическая и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, аргона, ручная дуговая сварка покрытыми электродами, контактная сварка, ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом.

5. Лакокрасочные покрытия

- Нанесение лакокрасочного покрытия методом пневматического распыления. Максимальные размеры окрашиваемых изделий — 23 000 мм и диаметром 3 500 мм.



ПРОИЗВОДСТВО

Бугульминский механический завод
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
423235, РФ, Республика Татарстан,
Бугульма, ул. Ленина, 146
+7 (85594) 7-63-35, 7-61-55
bmz@tatneft.ru
www.bmz.tatneft.ru



РЕАЛИЗАЦИЯ

ООО «Торгово-технический дом Татнефть»
423250, РФ, Республика Татарстан,
Лениногорск, ул. Чайковского, 33
+7 (85595) 9-28-92, 9-29-01
ttd@tatneft.ru
www.ttd.tatneft.ru