

УДК 621.774:620.197

**ЭФФЕКТИВНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И СРОКА СЛУЖБЫ ТРУБ
В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ**

В. И. Большаков, д. т. н., проф., Е. В. Проскуркин, к. т. н., с. н. с.,

Т. А. Дергач, к. т. н., в. н. с.

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства
и архитектуры»*

Введение

Одной из характерных особенностей современной нефтегазодобычи является тенденция к ужесточению режимов эксплуатации скважинного оборудования, в том числе и трубных колонн, и значительное увеличение объемов работ, требующих проведения спускоподъёмных операций [1; 2].

По убыткам вследствие коррозии нефтегазовая отрасль занимает одно из первых мест среди всех отраслей промышленности. Аварии из-за коррозионно-эрозионных разрушений нефтепромысловых трубопроводов приводят не только к потерям большого количества труб, простоям оборудования и недобору нефти, но и к необратимому загрязнению окружающей среды нефтью и сточными водами. По имеющимся данным, затраты на ликвидацию неблагоприятных последствий коррозионных разрушений составляют до 30 % от затрат на добычу нефти и газа [3; 4]. Это свидетельствует об актуальности проблемы повышения коррозионной стойкости и долговечности труб нефтяного сортамента.

Увеличение в последние годы использования интенсивных методов разработки нефтяных месторождений привело к дальнейшему увеличению коррозии труб и другого оборудования.

Наиболее распространенными причинами аварий черных (без покрытия) насосно-компрессорных труб (НКТ) являются коррозия, износ резьбы и усталостные разрушения. По данным промышленной статистики, количество аварий с НКТ в ряде случаев достигает 80 % от общего числа аварий скважинного оборудования. При этом подавляющее большинство разрушений происходит по резьбовым соединениям.

Согласно результатам квалитетического анализа эксплуатационной надежности НКТ, проведенного российскими специалистами на месторождениях Западной Сибири, Оренбургской, Самарской областей, «доминирующими» – порядка 50 % – являются отказы, связанные с резьбовым соединением (разрушение, потеря герметичности и т. д.). По данным Американского нефтяного института (API), по причине разрушения резьбовых соединений количество аварий НКТ составляет 55 %. На рисунке 1 представлена диаграмма распределения отказов с НКТ по видам.

В соответствии с изложенным, разработка технологий производства и внедрение новых видов труб с повышенной коррозионной стойкостью и эксплуатационной надежностью является чрезвычайно важной задачей.

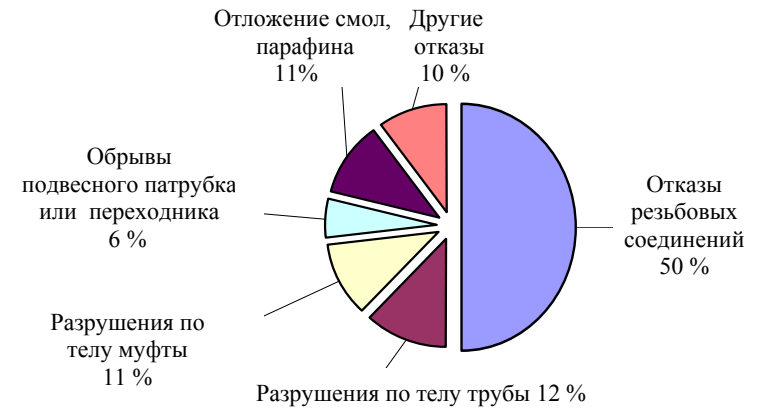


Рис. 1. Распределение отказов с насосно-компрессорными трубами по видам

Анализ защитных покрытий на трубах нефтяного сортамента

Применение труб из низколегированных и легированных сталей (а также труб из стеклопластиков) позволяет увеличить срок их службы. Однако, как показывают расчеты, их использование на мелких нефтяных месторождениях, которые в последние годы являются наиболее распространенными и рентабельными, экономически неэффективно.

Кроме того, применение указанных труб не решает основную задачу – увеличение надежности и долговечности резьбовых соединений НКТ.

Одним из эффективных путей повышения эксплуатационной надёжности и конкурентоспособности трубной продукции является защита их различными покрытиями. Объёмы производства таких труб в мире постоянно увеличиваются, в том числе, на предприятиях нефтегазового комплекса.

Нефтяники и газовики также уделяют все больше внимания использованию различных покрытий для защиты труб и их резьбовых соединений. Об этом свидетельствует расширение работ в этом направлении в ведущих нефтяных компаниях России (НК «Лукойл», Татнефть, ТНК, в настоящее время ТНК-ВР и др.), а также в ОМК и ТМК – основных изготовителей труб нефтяного сортамента для нефтегазового комплекса России.

Следует отметить, что нефтяники имеют определенный опыт использования НКТ с защитными покрытиями. Для защиты НКТ от коррозионно-эрозионного воздействия ими использовались различные покрытия (полимерные, стеклоэмалевые и др.), которые наносились в основном на внутреннюю поверхность труб на имеющихся небольших мощностях по производству НКТ с защитными покрытиями. Опыт этих компаний показал, что, несмотря на определенный положительный эффект от применения указанных покрытий, они не решают кардинально проблему

длительного увеличения срока службы НКТ. Кроме того, они в значительной степени подвержены воздействию различных механических повреждений, что приводит к нарушению слоя покрытия (сколы, трещины и др.), а отсутствие на резьбе труб и муфт износо- и коррозионностойкого покрытия не обеспечивает эффективную защиту НКТ в целом.

В случае труб с нарезными концами, выбранное покрытие должно не только защищать от коррозии, но и обеспечивать резьбовому соединению труб высокую износостойкость и герметичность.

Термодиффузионное железоцинковое покрытие

Анализ показывает, что среди многочисленных способов увеличения качества и эксплуатационной надёжности НКТ одним из перспективных является способ термохимического диффузионного цинкования. Он позволяет наносить защитное покрытие на НКТ с нарезными концами и на муфты к ним. При этом образуется защитное покрытие из коррозионно-эрозионностойкого железоцинкового сплава как на внутренней и наружной поверхностях труб и муфт, так и на их резьбовых участках.

В последние годы технология диффузионного цинкования труб и оборудование для него были значительно усовершенствованы, что дало возможность улучшить свойства защитных покрытий, которые можно квалифицировать как диффузионные цинковые покрытия нового поколения.

Универсальность диффузионных цинковых покрытий подтверждается их свойствами: по сравнению с полимерными они не склонны к старению, обладают высокой твердостью, износостойкостью, а диффузионная связь обеспечивает высокую степень сцепления с основой трубы. Цинковая составляющая обеспечивает покрытие достаточную пластичность, протекторные свойства и выполняет функцию твердой смазки.

Исследования основных свойств и результаты коррозионных испытаний диффузионных цинковых покрытий показывают, что они наиболее подходят для применения в жёстких условиях эксплуатации (табл. 1).

Достаточно простая технология диффузионного цинкования в сочетании с универсальными свойствами получаемых покрытий позволяют эффективно защищать внутреннюю и наружную поверхность НКТ, а также их нарезные концы, что не обеспечивается при использовании других типов покрытий.

Диффузионно-оцинкованные трубы легко транспортировать без повреждения покрытия, что трудно осуществимо для труб с неметаллическими покрытиями, особенно эмалевыми или стеклоэмалевыми.

На рисунке 2 представлен внешний вид пакетов диффузионно оцинкованных НКТ, изготовленных для глубоких (4 000 – 5 000 м) скважин НГДУ «Полтаванефтегаз».

Представляет большой практический интерес изучение физико-механических характеристик диффузионного цинкового покрытия, которые могут изменяться в процессе его эксплуатации вследствие воздействия на него жесткой коррозионной среды. Особенно важен такой показатель покрытия как микротвердость, так как она во многом определяет

эксплуатационные характеристики диффузионно оцинкованных НКТ и нефтегазопроводных труб при их работе в коррозионно-эрозионной среде.

Таблица 1

Сравнительные данные коррозионной стойкости стали 20 без покрытия и с диффузионным цинковым покрытием

№ пп	Среда испытаний	Скорость коррозии, г/м ² ·ч		Соотношение скоростей коррозии
		Сталь 20	Диффузионно оцинкованная сталь 20	
1	Поток влажного сжатого воздуха, подаваемого в нефтяную скважину	0,048	0,002	24
2	Пластовая вода, содержащая 500 мг/л H ₂ S	5,21	0,0565	92
3	Морские нефтепромыслы: (переменное смачивание по ватерлинии, приток воздуха и вода с повышен. концентрацией солей)	0,30	0,005	60
4	Системы горячего водоснабжения в ЖКХ	0,0923	0,0022	42
5	Техническая вода на нефтеперерабатывающих и коксохимических заводах	Скорость коррозии 0,2 мм/год	Скорость коррозии 0,04 мм/год	5

Примечание: сталь 20 приведена как наиболее часто используемая для изготовления труб и других металлоизделий, время испытаний не менее 1 года.



Рис. 2. Пакеты диффузионно-оцинкованных НКТ на складе готовой продукции

С этой целью была исследована микротвердость покрытия до и после коррозионных испытаний на общую коррозию по методикам NACE.

Результаты замеров микротвердости диффузионных цинковых покрытий на НКТ размером 73×5,5 мм групп прочности Д, Е и Р110 до и после эксплуатации приведены в таблице 2 [5].

Таблица 2

Микротвердость (кГ/мм²) диффузионного цинкового покрытия на образцах НКТ до и после испытаний на общую коррозию в растворе NACE TM 0177

Группа прочности	Значения микротвердости покрытия					
	до коррозионных испытаний			После испытаний		
Е	•418	•428	•457	•425	•489	•457
	•317 •336			•336 •336		
	•356	•457	•356	•457	•457	•428
Р110	•428	•402	•428	•402	•402	•428
	•328 •300			•318 •301		
	•402	•378	•378	•390	•415	•378

Примечания: 1. Испытания проводили по методике NACE (5 % NaCl + 0,5 % CH₃COOH, насыщенный H₂S, pH ≤ 3,5); T = 297⁰ K), время испытаний 96 ч. 2. Область серого и белого цвета – ДЦП и сталь без покрытия.

Установлено, что после вышеуказанных испытаний диффузионно оцинкованных образцов НКТ микротвердость покрытия не изменилась.

Последующие испытания резьбовых соединений диффузионно оцинкованных НКТ и муфт к ним подтвердили их высокую работоспособность (износостойкость) и сохранение своих свойств после многократных операций свинчивания-развинчивания труб и муфт.

Результаты промышленных испытаний диффузионно оцинкованных НКТ

Проведены промышленные испытания диффузионно оцинкованных НКТ в глубоких (до 4 000 м) нефтяных скважинах Чижевского нефтяного месторождения НГДУ «Полтаванефтегаз» (Украина, Полтавская область), эксплуатирующихся газлифтным способом. Интервал расположения в скважине колонны диффузионно оцинкованных НКТ составлял от устья скважины до глубины 2 800 м.

Промышленные испытания НКТ с диффузионным цинковым покрытием на нефтепромыслах НГДУ «Полтаванефтегаз» (ОАО «Укрнефть») показали высокую коррозионную стойкость и эксплуатационную надёжность труб (табл. 3, рис. 3 и 4).

Таблица 3

Плотность (г/см³), pH и минерализация (мг/л) пластовой воды НГДУ «Полтаванефтегаз»

Плотность /pH воды	Na + K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	J ⁻
--------------------	---------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------	-----------------	----------------

1,083/6,3	38,6 % экв.	47,7	225,7	85104	176,4	10,5
-----------	-------------	------	-------	-------	-------	------



Рис. 3. Спуско-подъемные операции на нефтяной скважине НГДУ «Полтаванефтегаз»



Рис. 4. Вид диффузионно-оцинкованных НКТ после промышленных испытаний в течение 3 лет

На рисунке 5 представлен вид наружной поверхности НКТ после длительных (более 5 лет) промышленных испытаний в газлифтной нефтяной скважине. Видно, что поверхность НКТ находится в отличном состоянии, на них даже сохранилась маркировка завода-изготовителя. В отдельных местах на поверхности труб были обнаружены следы от захвата инструментом при спуско-подъемных операциях. Несмотря на это, очаги коррозии на поверхности отсутствовали, поскольку нижележащие слои диффузионного цинкового покрытия защищали поверхность труб (рис. 5).

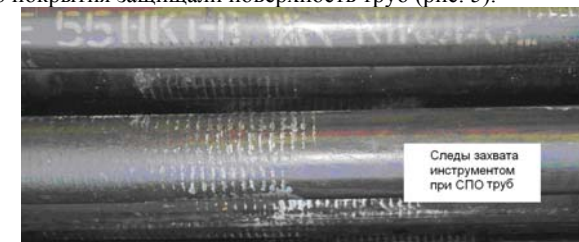


Рис. 5. Вид поверхности НКТ после длительных промышленных испытаний в газлифтной нефтяной скважине на нефтепромыслах Украины

Таким образом, важным свойством диффузионных цинковых покрытий являются протекторные свойства и эффект самозащиты.

Визуальный осмотр качества диффузионного цинкового покрытия на внутренней и наружной поверхности труб, а также на их резьбовых концах после промышленных испытаний в скважине показал отсутствие коррозионных или механических повреждений. Особо следует отметить высокое качество резьбы (рис. 6).



Рис. 6. Вид резьбового конца диффузионно-оцинкованной НКТ после промышленных испытаний в глубокой (3 800 м) нефтяной скважине

На трубах без покрытия были зафиксированы отказы при развинчивании труб (забоины и срезы резьбы).

Испытания механических свойств диффузионно-оцинкованных НКТ подтвердили высокие адгезионные свойства и пластичность диффузионного цинкового покрытия нового поколения. Это подтверждают данные таблицы 4, где для сравнения представлены результаты испытания механических свойств НКТ группы прочности Е до и после диффузионного цинкования, а также после проведения промышленных испытаний в условиях нефтедобычи.

Сочетание диффузионных цинковых покрытий с недорогими и недефицитными металлами обеспечивает значительную экономию средств при производстве и эксплуатации труб нефтяного сортамента.

Использование диффузионных цинковых покрытий нового поколения (заданного состава и структуры) для защиты НКТ позволяет одновременно:

- улучшить герметичность резьбовых соединений труб;
- повысить в 2–3 и более раз срок службы труб, коррозионную стойкость и износостойкость резьбовой пары "труба–муфта", увеличить количество операций "свинчивание–развинчивание" (в 10–15 и более раз);
- снизить число и трудоёмкость ремонтных работ на скважинах.

Таблица 4

Механические свойства (кгс/мм²/ МПа) НКТ до и после испытаний

Наименован. показателя	Треб. ГОСТ 633-80	Показатели механических свойств							
		до цинкования		после цинкования		после испытаний			
		№№ образцов							
		1	2	3	4	5	6	7	8
σ_b , не менее	70,3 (689)	95 (932)	96 (941)	96 (941)	96 (941)	95 (932)	94 (922)	93 (912)	94 (922)

σ_T , не менее	56,2 (552)	68 (667)	69 (677)	68 (667)	75 (735)	71 (696)	73 (716)	67 (657)	66 (647)
$\delta_{5,}$ %, не менее	13	20	19,5	19,5	19	20	19,5	19,5	20

Таким образом, использование диффузионных цинковых покрытий нового поколения является перспективным для защиты НКТ и их резьбовых соединений, а также нефтегазопроводных труб и насосных штанг от коррозионно-эрозионного воздействия агрессивных сред.

В мировой практике, в том числе в Украине и России, значительное количество нефти и газа добывают из скважин глубиной 4 000 – 5 000 м и более. Использование в этих условиях НКТ нового поколения с диффузионным цинковым покрытием позволит увеличить срок службы труб и обеспечит их длительную безаварийную эксплуатацию. Кроме того, диффузионно-оцинкованные НКТ и другие виды труб нефтяного сортамента с успехом могут быть использованы при разработке нефтедобычи на шельфах Чёрного, Азовского и Каспийского морей.

ВЫВОДЫ

1. Выполненный анализ показал, что трубы нефтяного сортамента с диффузионным цинковым покрытием нового поколения с успехом могут использоваться во многих нефтепромысловых средах:

- в пластовых водах нефтепромыслов, содержащих сероводород, углекислоту и др. агрессивные компоненты;
- в скважинах, эксплуатирующихся эрлифтом (газлифтом);
- на нефтегазопромысловых сооружениях при морской добыче нефти и в шельфовой зоне моря;
- в условиях закачки морской воды при нефтегазодобыче;
- в скважинах, подверженных отложениям парафина на внутренней поверхности НКТ.

2. Широкое использование диффузионно-оцинкованных НКТ и других труб в нефтегазодобывающей отрасли будет способствовать повышению рентабельности нефтегазодобычи и экологической безопасности.

Литература

1. Козлов А. В. Коррозия стального проката (по стандартам США и материалам американских и японских фирм) / А. В. Козлов // Производство проката. – 2004. – № 8. – С. 32–38.
2. Завьялов В. В. Проблемы эксплуатационной надежности трубопроводов на поздней стадии разработки месторождений / В. В. Завьялов. – М., 2005. – 331 с.
3. Проскуркин Е. В. Пути повышения коррозионной стойкости и эксплуатационной надёжности труб нефтяного сортамента / Е. В. Проскуркин, Т. А. Дергач, Т. А. Сюр // Сталь. – 2003. – № 2. – С. 74–75.

4. Проскуркин Е. В. Повышение эксплуатационной надежности и долговечности труб нефтяного сортамента – главная задача сегодняшнего дня / Е. В. Проскуркин, Т. А. Дергач, Г. Д. Сухомлин, С. С. Арустамов, В. С. Евдокимов // Производство проката. – 2003. – № 10. – С. 26–35.
5. Пинчук С. И. Испытания стойкости труб нефтяного сортамента к водородному растрескиванию в сероводородсодержащей среде / С. И. Пинчук, А. С. Мамренко, А. В. Белая, А. О. Симонов // Metallurgical and Mining Industry. – 2008. – № 6. – С. 59–60.