

РЕФЕРАТ - ПРЕЗЕНТАЦИЯ

Создание, освоение и промышленное внедрение комплекса передовых методов повышения эксплуатационной надежности скважинного оборудования для добычи нефти и газа за счет системы подбора необходимого материала труб и внедрения технологии их производства.

1.	Александров Сергей Владимирович, к.т.н., руководитель направления развития труб OCTG Акционерного общества «Первоуральский новотрубный завод», к.т.н. (руководитель работы).
2.	Девятерикова Наталья Анатольевна, ведущий инженер-исследователь отдела разработки труб для нефтегазовой отрасли Акционерного общества «Первоуральский новотрубный завод».
3.	Дронов Алексей Иванович, к.т.н., первый заместитель генерального директора–операционный директор Акционерного общества «Первоуральский новотрубный завод».
4.	Щербаков Игорь Викторович, начальник отдела разработки труб для нефтегазовой отрасли Акционерного общества «Первоуральский новотрубный завод».
5.	Бондаренко Ирина Васильевна, руководитель департамента технического продвижения и поддержки продаж Публичного акционерного общества «Челябинский трубопрокатный завод».
6.	Дерябин Максим Геннадьевич, начальник отдела труб нефтегазовой отрасли Публичного акционерного общества «Челябинский трубопрокатный завод».
7.	Моргунов Василий Александрович, начальник управления технологии бесшовных труб Публичного акционерного общества «Челябинский трубопрокатный завод».
8.	Зеленин Алексей Анатольевич, старший менеджер Департамента обеспечения добычи нефти и газа Публичного акционерного общества «Нефтяная компания «ЛУКОЙЛ».
9.	Филиппов Георгий Анатольевич, д.т.н., директор Научного центра качественных сталей Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина».
10.	Холодный Алексей Андреевич, к.т.н., начальник лаборатории коррозионностойких сталей и сплавов Научного центра качественных сталей Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина».

Проблема коррозионной стойкости нефтепромыслового оборудования является одной из важнейших для обеспечения надежной эксплуатации скважин. Особенно актуальной эта проблема становится со вступлением месторождения в завершающую стадию эксплуатации, когда коррозия усиливается в силу ряда причин: увеличения обводненности, применения химических методов интенсификации отдачи пласта, увеличение коррозионной агрессивности среды за счет образования биогенного сероводорода вследствие развития биопоражения добываемого продукта и т.д. Кроме того, это важно при добыче нефти на шельфе.

С целью увеличения эксплуатационной надежности погружного оборудования выбор типа OCTG для конкретных условий должен осуществляться с учетом коррозионной агрессивности добываемых или закачиваемых сред, при оценке которых должны учитываться как основные коррозионные факторы (CO_2 , H_2S), так и дополнительные осложняющие факторы, действующие в скважине (ионный состав воды и солеотложение, термобарические условия в скважине, технологические параметры работы скважины).

Впервые в РФ реализован комплексный проект по созданию, освоению и промышленному внедрению комплекса передовых методов повышения эксплуатационной надежности скважинного оборудования для добычи нефти и газа за счет системы подбора необходимого материала труб и внедрения технологии их производства:

1. Разработана Система выбора труб, которая позволяет на основании данных по физико-химическому составу транспортируемого продукта и основных условий эксплуатации провести оценку агрессивности среды и рекомендовать оптимальные стали для данных условий из существующей линейки труб повышенной эксплуатационной надежности производства АО «ПНТЗ».

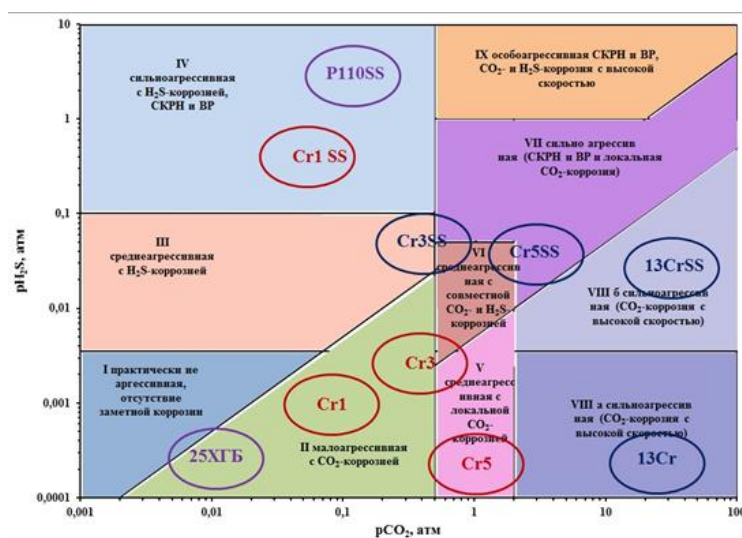
По степени агрессивности Система выбора выделяет 13 типов сред, при этом стойкость материала НКТ в скважине определяется не только степенью агрессивности среды, но и характером образующейся пленки солей-продуктов реакции и действием осложняющих факторов:

№ п/п	Краткая характеристика коррозионной агрессивности среды	Граничные условия по парциальным давлениям газов
1	Среда практически не агрессивная (отсутствие коррозионных процессов)	$p\text{CO}_2 < 0,5 \text{ атм}$; $p\text{H}_2\text{S} < 0,0035 \text{ атм}$; $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$
2	Среда малоагрессивная с преобладающим механизмом	$p\text{CO}_2 < 0,3 \text{ атм}$;

	CO ₂ -коррозии	$p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} \geq 20$
2а	Среда малоагрессивная с преобладающим механизмом CO ₂ -коррозии с высокой склонностью к локализации коррозионных повреждений	$0,3\text{атм} \leq p\text{CO}_2 < 0,5\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} \geq 20$
3	Среда среднеагрессивная с преобладающим механизмом H ₂ S-коррозии	$p\text{CO}_2 < 0,3\text{атм}; 0,0035 \leq p\text{H}_2\text{S} < 0,1\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$
3а	Среда среднеагрессивная с преобладающим механизмом H ₂ S-коррозии с высокой склонностью к локализации коррозионных повреждений	$0,3 < p\text{CO}_2 < 0,5\text{атм}; 0,0035 \leq p\text{H}_2\text{S} < 0,1\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$
4	Среда сильноагрессивная с преобладающим механизмом H ₂ S-коррозии с СКРН и ВР	$p\text{CO}_2 < 0,3\text{атм}; p\text{H}_2\text{S} \geq 0,1\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$
4а	Среда сильноагрессивная с преобладающим механизмом H ₂ S-коррозии с СКРН и ВР с высокой склонностью к локализации коррозионных повреждений	$0,3 \leq p\text{CO}_2 < 0,5\text{атм};$ $p\text{H}_2\text{S} \geq 0,1\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$
5	Среда среднеагрессивная с локальной CO ₂ -коррозией	$0,5 \leq p\text{CO}_2 < 2\text{атм}; p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} \geq 200$
6	Среда среднеагрессивная с совместной CO ₂ - и H ₂ S-коррозией	$0,5 \leq p\text{CO}_2 < 2\text{атм}; p\text{H}_2\text{S} < 0,05\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 200$
7	Среда сильноагрессивная, характеризуется СКРН, ВР, CO ₂ -коррозией, протекающей с высокой скоростью, совместно с H ₂ S-коррозией	$p\text{CO}_2 \geq 0,5\text{атм}; 0,05 \leq p\text{H}_2\text{S} < 1,0\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$ и $p\text{CO}_2 \geq 2\text{атм}; 20 \leq p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 200$
8а	Среда сильноагрессивная, характеризуется CO ₂ -коррозией, протекающей с высокой скоростью	$p\text{CO}_2 \geq 2\text{атм}; p\text{H}_2\text{S} < 0,0035\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} \geq 200$
8б	Среда сильноагрессивная, характеризуется CO ₂ -коррозией, протекающей с высокой скоростью, осложненная заметными количествами сероводорода, СКРН, ВР	$p\text{CO}_2 \geq 2\text{атм}; p\text{H}_2\text{S} \geq 0,0035\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} \geq 200$
9	Среда особоагрессивная, характеризуется СКРН, ВР и CO ₂ -и H ₂ S коррозией, протекающей с высокой скоростью	$p\text{CO}_2 \geq 0,5\text{атм}; p\text{H}_2\text{S} > 1\text{атм};$ $p\text{CO}_2/p\text{H}_2\text{S} < 20$

Таким образом, при окончательном выборе типа НКТ (марка стали, группа прочности) учитываются три обязательных параметра: агрессивность среды, тип образующейся пленки продуктов реакции и действие осложняющих факторов.

Схематическое изображение схемы выбора марки стали для различных условий эксплуатации:



2. Разработаны и внедрены в промышленное производство на АО «ПНТЗ» и внедрены в промышленную эксплуатацию на скважинах месторождений нефтегазодобывающих компаний РФ новые коррозионностойкие марки стали типа Cr1-Cr13, разработанные с целью обеспечения Системы выбора труб.

№ п/п	Тип марки стали	Краткая характеристика сред	Возможные ограничения по осложняющим факторам
1	Стали с содержанием хрома до 0,7%	малоагрессивные среды с преобладающим механизмом CO_2 -коррозии, в т.ч. в присутствии незначительных количеств сероводорода	ШГН (только с защитными покрытиями), O_2 , КВЧ, неблагоприятные термодинамические условия
		малоагрессивные среды с преобладающим механизмом CO_2 -коррозии с высокой склонностью к локализации, в т.ч. в присутствии незначительных количеств сероводорода	Солеобразование, высокая обводненность, ШГН (только с защитными покрытиями), O_2 , КВЧ, неблагоприятные термодинамические условия
2	Стали с содержанием хрома до 1,5% (серии Cr1 и Cr1-C)	малоагрессивные среды с преобладающим механизмом CO_2 -коррозии, в т.ч. с высокой склонностью к локализации, в т.ч. с совместной H_2S и CO_2 -коррозией;	ШГН (только с защитными покрытиями)
3	Стали с содержанием хрома до 1,5% (серии Cr1-SS)	средне и высоко-агрессивные среды с преобладающим механизмом H_2S -коррозии, СКРН, ВР	ШГН (только с защитными покрытиями), допустимые группы прочности – не выше С90 для серии Cr-1S; не выше P110 включительно для серии Cr-1SS
4	Стали с содержанием хрома до 3,5% Cr (серия Cr3-C)	Мало и среднеагрессивные среды с преобладающим механизмом CO_2 -коррозии, в т.ч. с высокой склонностью к локализации, в т.ч. с совместной H_2S и CO_2 -коррозией	ШГН (только с защитными покрытиями), КВЧ, неблагоприятные термодинамические условия
5	Стали с содержанием хрома до 3,5% (серия Cr3-SS)	Мало- и среднеагрессивные среды с совместной H_2S и CO_2 -коррозией. в т.ч. с высокой склонностью к локализации	ШГН (только с защитными покрытиями), КВЧ, неблагоприятные термодинамические условия, группы прочности не выше N80/L80
6	Стали с содержанием хрома до 5,0% (серия Cr5-C)	Среднеагрессивные среды с преобладающим механизмом CO_2 -коррозии, в т.ч. с высокой склонностью к локализации в т.ч. в присутствии незначительных количеств сероводорода	ШГН (только с защитными покрытиями), КВЧ, неблагоприятные термодинамические условия
7	Стали с содержанием хрома до 5,0% (серия Cr5-SS)	Среднеагрессивные среды с совместной H_2S и CO_2 -коррозией. в т.ч. с высокой склонностью к локализации	ШГН (только с защитными покрытиями), КВЧ, неблагоприятные термодинамические условия, группы прочности не выше N80/L80
8	Стали с хромом до 13,5% (серия Cr13-C)	Средне- и высокоагрессивные среды	ШГН (только с защитными покрытиями), КВЧ
9	Стали с содержанием хрома до 13,5% (серия Cr13-SS)	Средне- и высокоагрессивные среды с CO_2 -коррозией с высокой скоростью, в т.ч. с высокой склонностью к локализации с, в т.ч. в присутствии заметных количеств сероводорода	ШГН (только с защитными покрытиями), КВЧ, группа прочности не выше Q125

Применение системы выбора предполагает следующую схему взаимодействия с нефтегазовой компанией (потребителем):

- получение от потребителя информации об условиях эксплуатации на скважине в форме опросного листа;
- проведение расчетов и выбор марки стали, при необходимости уточнение ус-

ловий эксплуатации у потребителя;

– выдача информации с результатами расчетов в виде листа рекомендаций.

3. Анализ продуктовых линеек OCTG крупнейших российских и зарубежных производителей показывает, что OCTG производства АО «ПНТЗ» покрывают все основные типы осложненных условий, обеспечивая максимально возможный выбор типа OCTG для условий, наиболее характерных для месторождений России.

4. В отличие от большинства конкурентов (как российских, так и зарубежных) АО «ПНТЗ» предлагает для условий со средним содержанием углекислого газа и сероводорода, наиболее характерных для российских месторождений, экономнолегированные стали взамен более дорогостоящих хром-никель-молибденовых высоколегированных и дуплексных нержавеющей сталей. Именно этот подход оказывается наиболее востребованным российскими нефтяниками, т.к. позволяет заметно увеличить срок наработки погружного оборудования без значительных затрат.

С целью проверки свойств коррозионно-стойких сталей был проведен ряд лабораторных исследований и стендовых испытаний, в т.ч. в модельных средах, приближенных к условиям эксплуатации с одной стороны и к группам коррозионной агрессивности по системе выбора с другой, лабораторные исследования влияния солянокислотной обработки на коррозионную стойкость металла НКТ, а также исследование влияния химического состава стали насосно-компрессорных труб на биокоррозию; в т.ч. стендовые испытания труб в профильных институтах (ООО «Газпром ВНИИГАЗ, институты системы НИПИнефть).

Статистический анализ подконтрольной эксплуатации, например, НКТ подтверждает высокие эксплуатационные свойства новых разработанных труб – например, средняя наработка на отказ НКТ серии Cr1 увеличивается в 2-5 раз по сравнению с традиционными сталями системы легирования C+Mn, а серии Cr5 – не менее чем в 3-4 раза.

Наиболее значимые практические результаты внедрения:

1. Поставки НКТ Ø88,9; 114,3 и 139,7 мм скважин Приразломного месторождении ООО «Газпромнефть-Шельф», выбор труб и технологии их производства был проведен с использованием Системы выбора труб. Поставляемые трубы являются альтернативой зарубежным труба Vallourec начиная с 2016г.
2. С использованием разработанной Системы выбора труб произведен анализ

условий эксплуатации на месторождениях ООО «Газпромнефть-Оренбург» и осуществляются поставки НКТ и обсадных из сталей семейства Cr1-SS (импортозамещение поставок VoestAlpine до 8.000 тн/год начиная с 2014г.).

3. На базе отработки Системы выбора труб (исследование условий эксплуатации, отбор проб скважинной жидкости, подбор марок стали для НКТ и обсадных труб) в период 2010-2012гг. АО «ПНТЗ» был первым российским поставщиком труб из стали серии Cr1, Cr3 и Cr5 на месторождения в Западной Сибири и Коми, заложив тем самым практику выбора материала под условия эксплуатации и применения хромсодержащих марок стали для обустройства добывающих скважин.
4. С учетом практических результатов внедрения разработанного проекта впервые в РФ созданы предпосылки для научно-обоснованного подхода к обустройству новых месторождений в части адресного применения НКТ и обсадных труб (реализовано в компаниях в Оренбуржье и в Восточной Сибири).

Экономическая эффективность комплекса передовых методов повышения эксплуатационной надежности скважинного оборудования для добычи нефти и газа за счет системы подбора необходимого материала труб и внедрения технологии их производства по двум параметрам:

- техническая эффективность увеличения наработки на отказ труб из коррозионностойких сталей, применение которых обосновано за счет исследований условий эксплуатации и выбора наиболее оптимальной марки стали, системы подбора необходимого материала труб.
- объемы производства на АО «ПНТЗ» НКТ и обсадных труб в коррозионностойком исполнении из сталей, разработанных в рамках работы по созданию системы подбора необходимого материала труб и внедрения технологии их производства составили за период 2008-2019гг: 159,6 тыс.тн с выручкой в размере 14,5 млрд.руб. и отчислениями НДС в размере 2,3 млрд.руб. и по завершении работы (только в 2020г): 71,9 тыс. тн и 6,2 млрд. руб. выручки.

По результатам реализации проекта в конце 2020г на сайте группы ЧТПЗ запущен сервис «Конфигуратор насосно-компрессорных труб» (<https://chelpipe.ru/clients/nkt/indicative/>) – программа, которая позволит потребителям и проектным институтам самостоятельно осуществлять подбор оптимального типа НКТ для эксплуатации в сложных условиях.