

СОВРЕМЕННЫЕ ТРУБНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ

ЕВГЕНИЙ ХАРЛАМОВ

*Заведующий лабораторией защиты от коррозии
и эксплуатационной надежности, к.т.н.,
Исследовательский Центр ТМК*

АНДРЕЙ ЛАМОНОВ

*Научный сотрудник лаборатории защиты от коррозии и
эксплуатационной надежности, Исследовательский Центр ТМК*

АННА МАЛЬЦЕВА

*Начальник отдела материаловедения,
к.т.н., Исследовательский Центр ТМК*

АНТОН МОЗГОВОЙ

*Начальник управления по технической
поддержке проектов для нефтегазовых
компаний, к.т.н., ТМК*

Использование термических методов воздействия на пласт позволяет значительно увеличить добычу нефти за счет вовлечения в производство нефтематеринских пород. Для доставки теплоносителя к пласту в оптимальном диапазоне температур с устья скважины необходимо обеспечить минимальные тепловые потери по всей длине скважинной сборки с учетом соблюдения требований по газогерметичности, компенсации термического расширения и монтажа герметизирующих устройств. Поиск и разработка трубных сталей и сплавов, способных работать в таких условиях, проводятся на базе Исследовательского Центра Трубной металлургической компании и имеют положительные результаты.

Одним из крупнейших месторождений трудноизвлекаемых запасов нефти в мире является расположенная на территории РФ Баженовская свита [1], площадь которой составляет порядка 1,2 млн км². Она располагается на глубинах до 4000 м и содержит нефтематеринские породы в виде керогена, представляющего собой твердое нефтесодержащее малорастворимое органическое соединение. Залежи Баженовской свиты оцениваются в 80 млрд барр нефти. В настоящий момент нефтематеринские породы являются недоступными для стандартных способов добычи.

Для интенсификации добычи нефти все чаще используются технологии химического и теплового воздействия на пласт. В частности, нефтеотдача увеличивается при закачке в пласты попутного нефтяного газа, углекислого газа, поверхностно-активных веществ, разогретого до высоких температур пара (SAGD) и других методов. Одной из новых перспективных технологий является термическое воздействие на пласт водой, разогретой до сверхкритического состояния ($\sim P = 22$ МПа, $T = 380^\circ\text{C}$). При температурах, существенно превышающих 300°C в нефтематеринских породах происходит частичная конверсия керогена в жидкое и/или газообразное состояние с возможностью его дальнейшего извлечения из скважины. При использовании этой технологии выход углеводородов может достигать 45% и выше. Данная технология относится к наиболее актуальной и проекты по ее реализации осуществляются под наблюдением и при непосредственном участии крупнейших нефтегазодобывающих компаний РФ и ведущих научно-исследовательских центров.

Задачи создания технологии

Для реализации технологии закачки сверхкритической воды (СКВ) необходимо: создание комплекса наземного и подземного оборудования, разработка специальных способов организации теплоизоляции скважин, подбор режимов работы оборудования и прочее. Разработка новой по сути технологии требует выработки решений по составу скважинной сборки, выбору жаропрочных коррозионностойких материалов, разработки требований к узлам соединений каждого элемента конструкций с учетом прокачивания сверхкритической воды.

Воздействие СКВ на керогенсодержащие пласты обеспечивается сочетанием таких ее свойств, как низкие плотность и вязкость, что обеспечивает высокую скорость диффузии внутрь органических веществ, в то время как низкое значение поверхностного натяжения способствует хорошей фильтрации в поровом пространстве. СКВ снижает вязкость и десорбцию углеводородов, инициирует термохимический пиролиз керогена и тяжелых углеводородов, причем осуществление пиро-

лиза в присутствии воды сдерживает процесс коксообразования, что позволяет повысить выход жидких углеводородов из керогена.

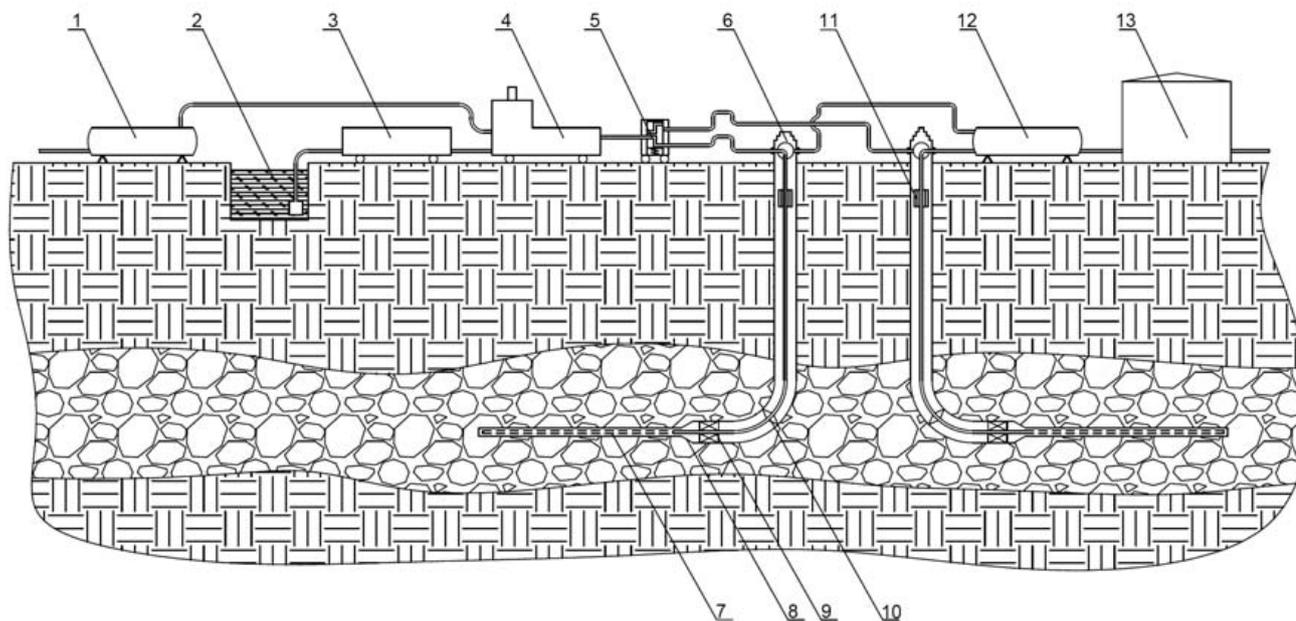
Учитывая уровень развития технологий, конструкторско-технологические заделы и перспективы разработки нового оборудования, наиболее быстрой реализацией метода закачки СКВ в пласт является технологическая цепочка оборудования с генерацией СКВ на поверхности земли в околоустьевой зоне с дальнейшей ее закачкой по теплоизолированным трубам в пласт. Добыча преобразованной из керогена и тяжелых углеводородов нефти может осуществляться как попеременными циклами закачки/фонтанирования (аналог huff-and-puff), так и по интерферирующим скважинам (аналог SAGD). На рис. 1 представлен комплекс оборудования для реализации добычи нефти предлагаемой технологией.

Скважинное оборудование

Работа оборудования в представленном на рис. 1 варианте предполагает следующие основные этапы. В качестве источника энергии, питающего генератор, используется сетевой или очищенный попутный газ. Источником воды для генератора может быть река, озеро или скважина технической воды с необходимой производительностью. Вода для последующего перевода в СКВ должна иметь высокую степень очистки, поэтому в обязательном порядке должен быть предусмотрен блок водоочистки до уровня, сопоставимого с котловой водой. Производимая генератором СКВ поступает в блок распределения, откуда по наземным трубопроводам подается к скважинам. Далее по НКТ, выполненным в виде теплоизолированных лифтовых труб (ТЛТ), и подводящим перфорированным трубам СКВ подается в пласт. Расчеты показывают целесообразность вести закачку СКВ в пласт до такого уровня давлений, когда возможно фонтанирование преобразованной нефти. После переключения скважины в режим фонтанирования полученная в пласте искусственная нефть поступает в холодильник сепаратор и далее в систему нефтесбора.

Важным требованием к скважинной сборке является максимальное ограничение теплопередачи от прокачиваемой СКВ к находящемуся в затрубном пространстве раствору и далее через систему обсадных труб и цементы в грунты. Принятый на этапе проработки концепции состав скважинной сборки включает следующие элементы: устьевая арматура в высокотемпературном исполнении, термокейсинг в верхней части скважины, ТЛТ, компенсаторы температурного удлинения, пакеры, предотвращающие перетоки наиболее нагретого раствора в затрубном пространстве, стингер в высокотемпературном исполнении, направляющие тру-

Рисунок 1. Технологическое оборудование для добычи нефти с помощью закачки в пласт



- 1 – Источник газа; 2 – Источник воды с системой первичной водоочистки; 3 – Система подготовки и тонкой очистки воды; 4 – Генератор СКВ; 5 – Система распределения СКВ; 6 – Скважинная головка (устьевая арматура) с подвеской ТЛТ; 7 – Подводящие перфорированные трубы; 8 – Воронка (стингер); 9 – Пакер; 10 – Центраторы; 11 – Компенсаторы температурного расширения; 12 – Сепаратор; 13 – Система нефтесбора

бы внутри хвостовика скважины, а также центраторы как для ТЛТ, так и для направляющих труб, которые должны центрировать колонну скважинной сборки для уменьшения теплопередачи от наружных элементов скважинной сборки к внутренним элементам конструкции скважины (обсадным трубам). Также необходимо использовать систему телеметрии, которая должна обеспечивать контроль параметров прокачиваемой СКВ и затрубного пространства.

Моделирование условий работы

Оценка нагрузок, действующих на элементы скважинной сборки, дает понимание требований к используемым материалам.

Первым этапом разработки технологии являлось создание модельной скважины. Была предложена наклонно-направленная скважина с горизонтальным окончанием длиной 4500 м с хвостовиком 1500 м. Ориентируясь на то, что входящая в пласт СКВ должна иметь температуру не выше 400°C (выше этой температуры происходит закоксовывание керогена), были установлены критические параметры (давление, температура, расход), которые должны это обеспечить. Таким образом, появились реперные точки, позволяющие заниматься проектированием оборудования для обеспечения технологии за-

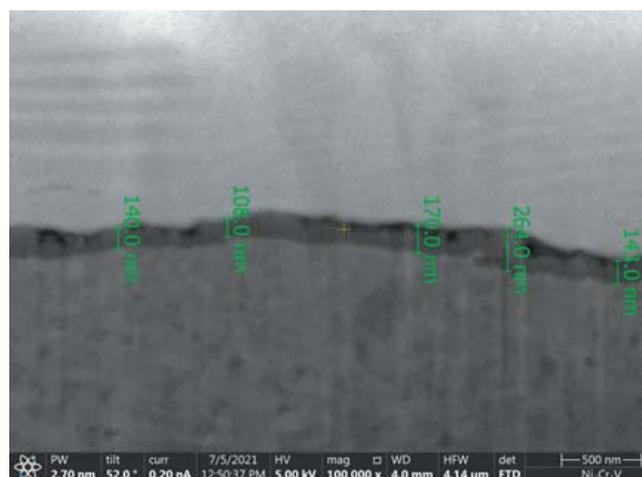
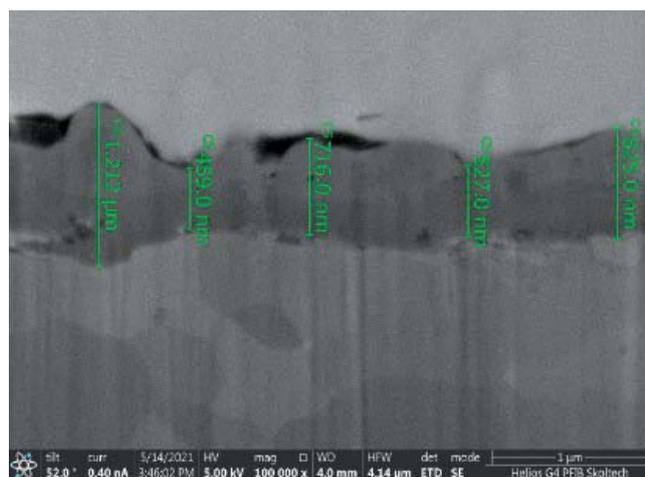
качки СКВ. В частности, в номинальном режиме работы генератор СКВ должен обеспечить выход СКВ с температурой 500-550°C, давлением 35-40 МПа и расходом 8-10 т/час. Скважинная сборка должна иметь проходной диаметр не менее 55 мм и коэффициент теплопроводности ТЛТ не хуже 0,05 Вт/(м*°C).

Исследования материалов в СКВ

В результате изучения литературы [2-3] и собственных исследований для дальнейших испытаний были выбраны три группы материалов: мартенситные нержавеющие стали, аустенитные нержавеющие стали и аустенитные сплавы на никелевой основе. Выбор данных материалов исследования позволил получить требуемый комплекс механических характеристик при комнатной и повышенной температурах для уровня прочности 110 ksi.

Оценку коррозионной стойкости в СКВ материалов проводили при температуре 550°C и давлении 30 МПа, время выдержки образцов составляло 240 часов. Показано, что скорость окисления мартенситных сталей превышает скорость окисления аустенитных нержавеющих сталей. На рис. 2 для сравнения приведены толщины окислительных пленок нержавеющих сталей мартенситного (рис. 2, а) и аустенитного классов (рис. 2, б), что

Рисунок 2. Общий вид оксидного слоя на нержавеющих сталях мартенситного (а) и аустенитного (б) классов после воздействия СКВ ($P = 30$ МПа, $T = 550^{\circ}\text{C}$, $t = 240$ ч)



коррелирует с полученными результатами скорости коррозии. На никелевых сплавах в результате выдержки образцов в СКВ происходит образование очень тонких оксидных пленок с толщиной порядка 0,02-0,03 мкм, которое сопровождается самой минимальной потерей массы и, соответственно, характеризуется минимальной скоростью коррозии.

По результатам исследований и экономической целесообразности в качестве базового варианта материалов трубной продукции под закачку СКВ выбраны высокопрочные (не ниже 110 ksi) бесшовные холоднодеформированные коррозионностойкие трубы из аустениной нержавеющей стали, серийно выпускаемые ПАО «ТМК».

Планы на будущее

В настоящий момент ПАО «ТМК» серийно выпускает теплоизолированные лифтовые трубы в высокотемпературном исполнении. Такое исполнение включает в себя экранно-вакуумную теплоизоляцию, благодаря чему коэффициент теплопроводности трубы при максимальной температуре эксплуатации 350°C составляет $0,01$ Вт/м*К (рис. 3).

На 2023 год перед специалистами ТМК стоят задачи по оптимизации теплоизолирующих свойств ТЛТ, изготовленных из выбранной коррозионно-стойкой стали и работающих при температурах 500 – 550°C , а также по выработке решений для снижения тепловых потерь в местах их соединений. Успешное решение поставленных задач позволит перейти к проведению ОПИ нового термостойкого скважинного оборудования на месторождениях Баженовской свиты, запланированных на 2024-2025 годы в рамках апробации метода термического воздействия на пласт. 📌

Рисунок 3. Теплоизолированная лифтовая труба производства ТМК



Список литературы

1. Природные резервуары нефти в отложениях баженовской свиты на западе Широкого Приобья Архивная копия от 26 августа 2014 на Wayback Machine // Алексеев Алексей Дмитриевич, «ГЛАВА 2. История и современное состояние вопросов изучения баженовской свиты».
2. Status of advanced ultra-supercritical pulverised coal technology Kyle Nicol CCC/229 ISBN 978-92-9029-549-5 December 2013.
3. Y. Yi, B. Lee, S. Kim, J. Jang, Corrosion and corrosion fatigue behaviors of 9Cr steel in a supercritical water condition, Mater. Sci. Eng. A 429 (2006), 161-168.



TMK UP Magna

РАБОТАЕТ
НА СКОРОСТЬ

Быстрособорное премиальное
соединение для труб большого
диаметра.

Высокая конусность соединения
обеспечивает легкую и глубокую
посадку ниппеля в муфту,
а увеличенный шаг сокращает
время полной сборки.



Узнай больше на:
TMK-GROUP.RU

TMK

101000, Россия, Москва, ул. Покровка, д. 40, стр. 2А
Тел.: +7 (495) 775-76-00, Факс: +7 (495) 775-76-01