

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 3 / 2023, Vol. 15, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/30NZVN323.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Зиганшин, Р. Ш. Развитие технологий разработки месторождений высоковязкой нефти в современных условиях / Р. Ш. Зиганшин, Д. А. Маргачев, А. М. Зиновьев, Ю. П. Борисевич, А. В. Никитин, М. А. Шейкина // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/30NZVN323.pdf>

For citation:

Ziganshin R.Sh., Margachev D.A., Zinovev A.M., Borisevich Iu.P., Nikitin A.V., Sheikina M.A. Improvement of heavy oil field development technologies in modern conditions. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(3): 30NZVN323. Available at: <https://esj.today/PDF/30NZVN323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Зиганшин Раис Шамильевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Аспирант

E-mail: pauc97@gmail.com

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1134747

Маргачев Данила Андреевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия

E-mail: danilama1999@mail.ru

Зиновьев Алексей Михайлович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: lekso1988@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Борисевич Юрий Павлович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент

Кандидат химических наук

Никитин Александр Валерьевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Аспирант

E-mail: nikitin.oil@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025

Шейкина Марина Александровна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: wmsheikinam@gmail.com

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=886713

**Развитие технологий разработки
месторождений высоковязкой нефти
в современных условиях**

Аннотация. На современном этапе развития все большее количество нефтегазовых и энергетических предприятий включают в стратегии развития цели по сокращению выбросов парниковых газов от производственной деятельности. Это обусловлено давлением общественности и акционеров ввиду общемирового повышения среднегодовой температуры. Другой важный фактор — это сокращение количества высококорентабельных активов легкой нефти в мире. В статье представлен результат анализа актуальности различных тематик, связанных с разработкой месторождений высоковязкой нефти путем составления статистики по публикациям в онлайн-библиотеке общества инженеров-нефтяников OnePetro. Установлен тренд роста количества публикаций, связанных с закачкой углекислого газа в пласт. Также представлены оценки объема запасов высоковязкой нефти из отечественных и зарубежных источников. Отмечается, что мировые запасы высоковязкой нефти и природного битума могут превышать триллион баррелей нефтяного эквивалента (по оценке Геологической службы США). Описаны особенности реологических свойств высоковязких нефтей: наличие тиксотропных свойств, начального напряжения сдвига, что существенно осложняет разработку таких объектов традиционными методами. Представлено описание ряда физических, химических и комплексных технологий воздействия на продуктивные пласты с высоковязкой нефтью. Отмечается комплексный эффект применения технологий воздействия на продуктивный пласт с использованием углекислого газа: сокращение и предотвращение выброса части парниковых газов в технологических процессах увеличения нефтеотдачи пластов и экономический эффект в виде дополнительной добычи нефти. Авторами работы отмечается, что повышаются риски ввода месторождений с тепловым воздействием на пласт, поскольку для выработки и закачки теплового агента (пара, горячей воды) требуется стационарное сжигание значительного количества топлива (попутного или природного газа, мазута и т. д.). Ввиду этого повышается актуальность развития «холодных» способов воздействия на пласт, в том числе газоциклических обработок.

Ключевые слова: высоковязкая нефть; трудноизвлекаемые запасы; повышение нефтеотдачи; интенсификация добычи; исследование

В настоящее время в мире всё большее внимание нефтегазодобывающих предприятий уделяется повышению операционной эффективности, увеличению рентабельности добычи углеводородов. Высокое влияние на выбор активов добывающими компаниями для разработки оказывает «зеленая повестка», ввиду чего компании подвергаются существенному давлению со стороны акционеров и инвесторов¹, особенно в части сокращения выбросов парниковых газов. Однако, количество высококорентабельных и высокоэффективных активов, особенно с легкой маловязкой нефтью, ограничено не только геолого-физическими характеристиками объектов разработки, но и их расположением и научно-технологической готовностью для вовлечения в разработку запасов низкопроницаемых коллекторов, месторождений высоковязкой нефти, шельфовых месторождений углеводородов.

Зачастую компании-операторы приступают к разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами (высоковязкая нефть, природный битум, нефти низкопроницаемых коллекторов) в регионах своего длительного присутствия, где они уже имеют развитую инфраструктуру скважин, систему сбора и подготовки продукции, возможности по оперативной отгрузке добытой нефти и газа потребителям. Кроме того, в таких хорошо обустроенных регионах уже присутствует как высокий кадровый потенциал, так и развитые научные школы, и проектные институты, с наработанным опытом системного и

¹ UN Climate Change Quarterly Report: Q1 2023 / UN Climate Change. — URL: <https://unfccc.int/about-us/reports/un-climate-change-quarterly-report-q1-2023> (дата обращения: 10.05.2023).

комплексного подхода к решению задач, связанных с разработкой трудноизвлекаемых запасов углеводородов.

Одним из перспективных направлений поддержания и увеличения добычи в традиционных регионах присутствия являются запасы высоковязкой нефти и природного битума. Мировые запасы оцениваются различными специалистами в объеме более миллиарда тонн. Согласно данным U.S. Geological Survey за 2003 год, соотношение запасов легкой и нефти, природного битума и высоковязкой нефти в мире выглядит следующим образом (рис. 1) [1].

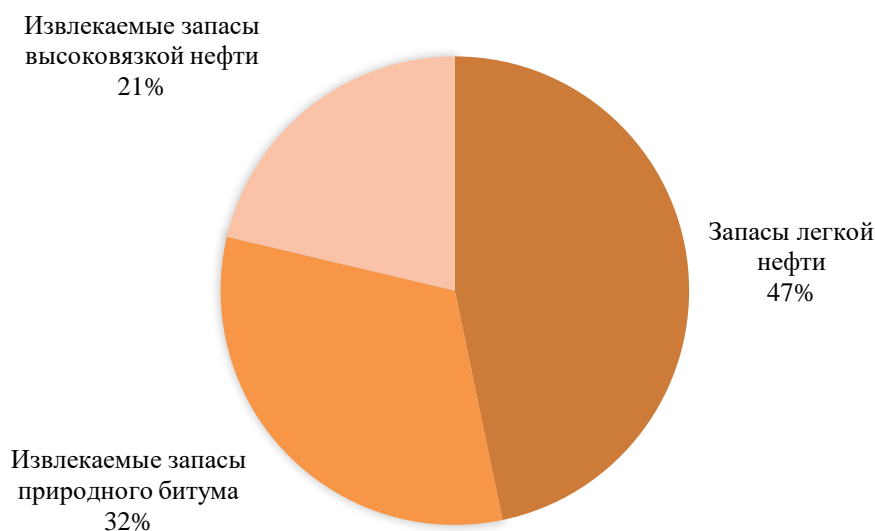


Рисунок 1. Соотношение запасов легкой и нефти, природного битума и высоковязкой нефти в мире согласно оценке Геологической службы США [1]

В таблице 1 представлено детальное распределение запасов высоковязкой нефти и природного битума согласно данным Геологической службы США по состоянию на 2003 год [1].

Таблица 1
Распределение извлекаемых запасов ВВН и ПБ в мире и усредненных КИН

Регион	Высоковязкие нефти		Природные битумы	
	усредненный коэффициент нефтеотдачи	технически извлекаемые запасы, млрд тнэ	усредненный коэффициент нефтеотдачи	технически извлекаемые запасы, млрд тнэ
Северная Америка	0,19	4,82	0,32	72,43
Южная Америка	0,13	36,25	0,09	0,01
Западное полушарие	0,13	41,06	0,32	72,44
Африка	0,18	0,98	0,1	5,87
Европа	0,15	0,67	0,14	0,03
Средний Восток	0,12	10,67	0,1	0,00
Азия	0,14	4,04	0,16	5,84
Российская Федерация	0,13	1,83	0,13	4,60
Восточное полушарие	0,13	18,19	0,13	16,33
Мировые извлекаемые запасы, тнэ		59,25		88,77

Источник [1]

Геологическая служба США при сборе статистических данных приняла следующее условное деление нефтей по видам: легкая или традиционная нефть — имеет плотность выше 22° API и вязкость менее 100 мПа·с; высоковязкие и тяжелые нефти — верхний предел по плотности 22° API и вязкость более 100 мПа·с; природный битум — в США определяются также как битуминозные или нефтяные пески, имеют все свойства высоковязкой нефти, однако отличаются существенно более высокой плотностью и вязкостью выше 10 000 мПа·с.

В Российской Федерации сверхвязкой нефтью считается нефть с вязкостью выше 200 мПа·с в пластовых условиях, при этом до 2021 на добычу такой нефти действовали налоговые льготы. Согласно данным отечественных специалистов [2], наибольшими запасами высоковязкой нефти в Африке и Евразии (с вязкостью выше 35 мПа·с) обладает Российская Федерация (75 %), затем идут Республика Казахстан (10,53 %) и Азербайджан (2,24 %). При этом отмечается, что наиболее вязкие нефти находятся в Тимано-Печорском бассейне — среднебассейновая вязкость составляет 1 221,46 мПа·с.

Согласно данным различных исследований отечественных специалистов, высоковязкие нефти также обладают сложными реологическими свойствами, существенно осложняющими разработку нефтяных месторождений. Исследованиями реологических свойств в различные периоды времени занимались такие специалисты, как Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М., Петухов А.В., Ольховская В.А., Роцин П.В., Рогачев М.К. и многие другие. Многочисленными исследованиями доказано наличие неньютоновских свойств у высоковязких нефтей различных регионов Российской Федерации [3-7]. Такие аномальные свойства выражаются в наличии у высоковязких нефтей начального напряжения сдвига, тиксотропных свойств, наличие упругой и вязкой компонент вязкости, характеризующих течение жидкости. Ниже (рис. 2) представлен пример результатов исследований высоковязкой нефти Печерского месторождения (Самарская область), выполненных под руководством П.В. Роцина в Горном университете (г. Санкт-Петербург) [8].

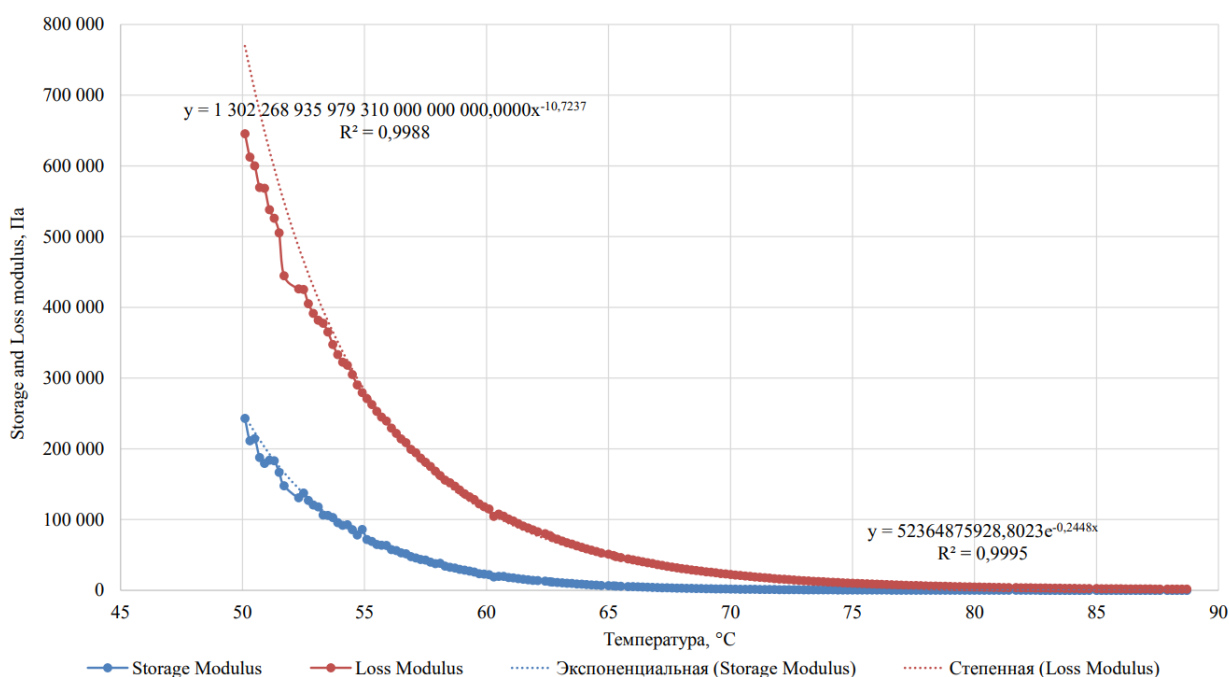


Рисунок 2. Результаты исследования зависимости вязкой (loss modulus) и упругой (storage modulus) компоненты вязкости нефти Печерского месторождения на ротационном вискозиметре [8]

Как вязкая, так и упругая компоненты вязкости снижают свое значение с ростом температуры, при этом для упругой компоненты вязкости процесс идет не столь интенсивно. В сочетании с тиксотропными свойствами, наличием иных аномалий вязкости, в промышленных условиях это приводит к нелинейным зависимостям «дебит скважины — депрессия на пласт», активному формированию застойных зон при наличии в участках пласта градиентов давления ниже градиента давления начала фильтрации нефти. Кроме того, отмечаются проблемы с запуском насосного оборудования и выводом скважин на режим. Таким образом, разработка месторождений высоковязкой нефти представляет сложную инженерную задачу.

Для определения трендов и состояния развития различных направлений технологий в области добычи высоковязкой нефти был использован ресурс (онлайн-библиотека общества инженеров-нефтяников). На рисунке 3 представлены результаты исследования некоторых трендов по динамике опубликованных работ на основе базы публикаций OnePetro, включающей в себя более 200 тысяч публикаций на английском и русском языках по тематике нефтегазовой промышленности, начиная с 1885 года.²

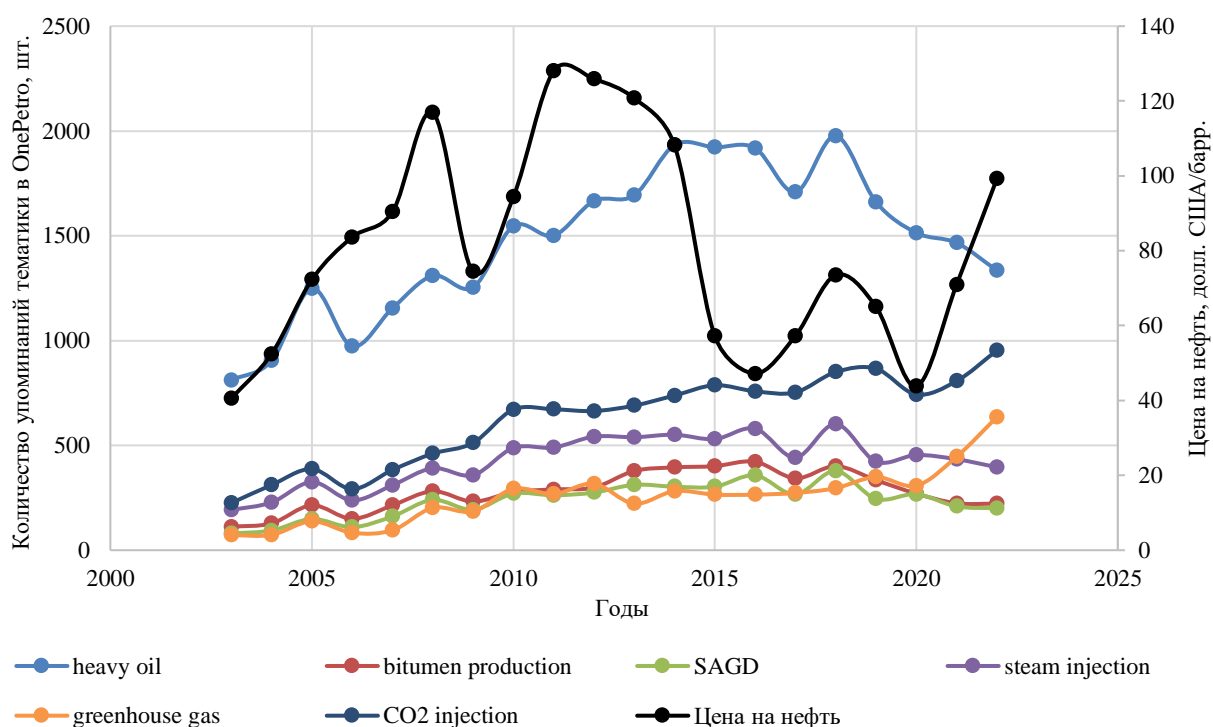


Рисунок 3. Количество опубликованных работ в базе OnePetro по тематикам, динамика изменения цены на нефть Brent по годам²

Исходя из представленных данных возможно сделать следующие выводы. Отмечается устойчивый рост количества публикаций по тематике «greenhouse gas» (парниковые газы) с 72 до 635 в 2022 году. При этом тематики «heavy oil» (высоковязкая нефть) и «bitumen» (битум) сохраняют устойчивый стабильный тренд к росту относительно 2003 года. Тематика «CO₂ injection» (закачка CO₂) показывает устойчивый стабильный тренд роста числа публикаций с 225 в 2003 году до 953 в 2022 году. Проекты по закачке углекислого газа в продуктивные пласты позволяют использовать уловленный углекислый газ для увеличения нефтеотдачи пластов или последующего захоронения (CCS — carbon capture and storage, CCUS — carbon capture, storage and use). Следует отметить, что в ситуации, когда происходит

² The online library of technical literature for the oil and gas industry / OnePetro.org — URL: <https://onepetro.org> (дата обращения: 10.05.2023).

усиление давления на нефтедобывающие и энергетические компании в части сокращения выбросов парниковых газов, происходит нарастание рисков проектов термического воздействия на продуктивные пласты, содержащие высоковязкие нефти и природные битумы. При этом один из основных проектов, оказавшихся под давлением общественности — это карьерная добыча нефтяных песков Канады (согласно данным 2020 года, удельные выбросы парниковых газов достигают 69 кг CO_{2экв.}/бнэ). Такие процессы, как SAGD также возможно потребуют дополнительных изменений в части способа получения теплового агента (пара, горячей воды и т. д.) для воздействия на продуктивный пласт. Известен проект компании GlassPoint, где получение пара осуществляется путем фокусирования солнечного света на водоподводящих трубах для дальнейшей закачки в пласт на месторождении Амаль, Оман.³ Однако, опыт данного проекта не привел к массовому тиражированию технологии.

В настоящее время принято условно делить способы разработки таких месторождений по виду воздействия на продуктивный пласт-коллектор: физические (в том числе тепловые способы), химические способы и комплексные технологии. Ниже представлено краткое описание ряда технологий.

К физическим способам воздействия на продуктивный пласт для увеличения нефтеотдачи относят закачку теплоносителя (пара, горячей воды), внутрислоевого подземное горение, ударно-волновые технологии, методы электрического прогрева [9–13]. Разработанная в Канаде на основе термо-шахтного способа разработки технология парогравитационного дренирования SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage) широко применяется во всем мире на объектах с высоковязкой нефтью и природным битумом, в значительном объеме в Канаде: Fort McMurray (1987 г.), Tangleflags (1989 г.), Foster Creek (1996 г.), MacKay River (2002 г.), Sunrise (2015 г.). Также технология активно применяется в Китае: площадка Shu1 на месторождении Liaohe (1996 г.), затем на этом же месторождении внедрена на Guantao Formation (2014 г.), Hexing VI Formation (2011 г.) на блоке Du84. В 2008 году пилотные проекты SAGD были запущены на блоках Chong32 и Choang37 месторождения Xinjiang [20]. Применение SAGD позволяет достигать достаточно высоких значений КИН до 60 %, однако требует строительства минимум двух скважин с горизонтальным окончанием, подключение нагнетательных скважин к источнику перегретого пара. В Российской Федерации наиболее известны следующие проекты с термическим воздействием на пласт по технологии SAGD: Ашальчское месторождение (Республика Татарстан), Ярегское месторождение (Республика Коми) [15–17].

К тепловым способам увеличения добычи нефти также относят различные виды генерации тепловой энергии непосредственно в продуктивном пласте. Это технологии внутрислоевого горения, с закачкой воды совместно с воздухом (влажное горение) или закачкой воздуха (сухое горение), в различных видах технологий [18–21]. Такой метод воздействия на пласт массово применялся в СССР и США начиная с 1950 года. Для инициации процесса в призабойной зоне пласта нагнетательной скважины специалисты обеспечивают условия для формирования устойчивого фронта горения. Для поддержания движения фронта горения в пласте производится подача воздуха, или воздуха с добавлением пара или воды. Некоторое количество пластовой нефти окисляется и сгорает, при этом тепловая энергия процесса позволяет снизить вязкость нефти непосредственно в самом пласте. При сгорании углеводородов в пласте выделяются углекислый газ, вода переходит в пар, что позволяет эффективно вытеснять и отмывать нефть с поверхности породы. Метод возможно применять на различных глубинах залегания продуктивных пластов. К недостаткам таких методов следует отнести возможность прорывов к добывающим скважинам нецелевых флюидов: газов горения, в том числе кислых газов, и горячей воды и пара. Это может привести к преждевременным остановкам добывающих скважин по причине перегрева насосного оборудования из-за

³ GlassPoint: сайт. — URL: <https://www.glasspoint.com> (дата обращения: 10.05.2023). — Текст: электронный.

прорывов газа. Кроме того, при сжигании углеводородов в продуктивном пласте образуются агрессивные, коррозионноактивные газовые смеси, негативно влияющие на глубиннонасосное оборудование, насосно-компрессорные трубы. Также осложняется сбор и подготовка продукции скважин, может потребоваться применение дополнительных реагентов: ингибиторов коррозии, деэмульгаторов и т. д. Наличие значительной доли негорючих газов в составе попутного нефтяного газа значительно осложняет их дальнейшее использование.

Широко известны и применяются пароциклические обработки скважин (ПЦО), вскрывших пласты с высоковязкими нефтями и природными битумами. В Российской Федерации пароциклические обработки успешно применяются на ряде месторождений: Усинском, Ярегском, Ашальчинском, Катангли и других объектах, в том числе на месторождениях ООО «РИТЭК» [22–25]. Для реализации такого способа увеличения добычи нефти реализуется ряд последовательных операций, обычно на добывающей скважине. Для проведения работ по ПЦО из скважины извлекают внутрискважинное оборудование: насос, насосно-компрессорные трубы, пакер и т. д. Далее в скважину спускают термоизолированные насосно-компрессорные трубы и производится активация пакера для изоляции межтрубного пространства, для предотвращения подъема пара к устью между НКТ и обсадной колонной. Производится установка парогенерирующего и вспомогательного оборудования, проводится закачка пара в продуктивный пласт. На втором этапе скважину оставляют на пропитку на различный период, который может занимать определенное время, наиболее часто — от недели до месяца. Затем производится спуск глубиннонасосного оборудования и освоение скважины с последующим выводом на режим. Технологический эффект достигается за счет снижения вязкости нефти при повышении ее температуры в пластовых условиях, также высокотемпературные процессы активизируют активную капиллярную пропитку, что способствует дополнительному извлечению нефти из призабойной зоны пласта-коллектора. Несмотря на ограниченный радиус обработки единичной скважины, этот метод при массовом, масштабном применении на различных скважинах в рамках одного объекта разработки является методом увеличения нефтеотдачи пласта.

Тепловые методы воздействия на продуктивные пласты позволяют добиться высоких коэффициентов извлечения нефти — до 75 %. Однако при этом происходит выделение выбросов углекислого газа в различных процессах. Для реализации процесса SAGD необходим нагрев рабочего агента — воды, для выработки перегретого пара и последующей закачки его в продуктивный пласт. Таким образом, процесс SAGD потребляет значительные объемы топлива и сопровождается значительным объемом выбросов парниковых газов. Существуют концепты SAGD и иных тепловых способов воздействия на продуктивный пласт с использованием электрической энергии [26].

Отмечается, что применение тепловых способов воздействия на пласт приводит к значительным выбросам парниковых газов ввиду необходимости нагрева большого количества воды для получения пара (выбросы при стационарном сжигании топлива).

Существует ряд технологий физического, химического и комплексного воздействия на пласт без необходимости применения нагретого рабочего агента. Это такие способы, как: циклическая закачка растворителя (в том числе газоциклические обработки скважин CO_2 в сверхкритическом состоянии), заводнение с ПАВ, щелочное заводнение, холодная добыча нефти с извлечением песка, метод изменения направления фильтрационных потоков и другие технологии, широко описанные в литературе [27]. При этом комплексные технологии имеют ряд преимуществ, позволяющих достигать синергетического эффекта от их использования именно на месторождениях высоковязкой нефти ввиду ее комплексных физических свойств (тиксотропные свойства, наличие начального напряжения сдвига и т. д.) [28].

Одними из наиболее перспективных технологий в условиях ужесточения требований к выбросам парниковых газов нефтедобывающих компаний являются технологии, связанные с применением углекислого газа для увеличения нефтеотдачи пластов, в различных вариациях. Данные технологии имеют ряд опций для комплексирования.

С точки зрения сокращения или компенсации выбросов парниковых газов, наиболее технологически доступной в настоящее время является технология газоциклических обработок добывающих скважин углекислым газом в сверхкритическом состоянии [29]. Обычно CO₂ действует как растворитель, закачиваемый в пласт для увеличения остаточной добычи нефти [30].

Взаимодействие углекислого газа может приводить к нарушению фазового равновесия и выпадения твердых частиц из нефти непосредственно в поровом пространстве пласта-коллектора. Для растворения органических отложений или хотя бы частичного предотвращения их выпадения в призабойной зоне пласта может быть рассмотрен концепт воздействия на пласт с предварительной закачкой поверхностно-активных веществ или реагентов-растворителей на углеводородной основе, что широко описано в работе [30]. Кроме того, если планируется использование углекислого газа в закрытом цикле, необходима модификация системы сбора и подготовки нефти на месторождении с учетом изменения химического состава попутного газа (например, это может вызвать проблемы с факельным или стационарным сжиганием). Также требуется улавливание CO₂ из потоков продукции скважин и дальнейшее сжатие до сверхкритического состояния для повторной закачки. В ряде научных работ отмечается, что углекислый газ в сверхкритическом состоянии позволяет обеспечить вытеснение до 60 % нефти из керна [31].

Следует отметить, что эффективность применения углеводородных реагентов-растворителей в комплексе с другими технологиями отмечена в ряде работ, например в различных технологиях обработки призабойной зоны пласта на месторождениях высоковязкой нефти [32].

На основании представленной информации возможно сделать следующие выводы.

1. Увеличение внимания мировой общественности к выбросам парниковых газов приводит к усилению давления на нефтедобывающие компании. При этом наибольшие риски отмечаются у проектов с термическим воздействием на продуктивный пласт: закачка пара (проекты SAGD, пароциклические обработки), закачка горячей воды, ввиду высоких объемов прямых выбросов парниковых газов при сжигании топлива для нагрева теплоносителя. Также риски увеличиваются и на месторождениях с применением технологии внутрипластового горения. Отмечается, что для таких проектов могут быть актуальными технологии улавливания углекислого газа от сжигания топлива, при наличии положительного экономического эффекта.
2. Высокими перспективами развития в современных условиях обладают так называемые «холодные» методы воздействия на пласты, содержащие высоковязкие нефти и битумы. Возможность комплексирования технологий друг с другом позволит получать синергетический эффект от применения. Одним из перспективных вариантов может быть применение углекислого газа в замкнутом цикле (например, при газоциклических обработках скважин), что позволяет как добиться сокращения выбросов парниковых газов на предприятии, так и получить эффект в виде повышения нефтеотдачи пласта. Отмечается, что повысить эффективность реализации технологии возможно за счет применения углеводородных реагентов-растворителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meyer R.F., Attanasi E.D. Heavy oil and natural bitumen-strategic petroleum resources // World. — 2003. — V. 434. — P. 650–657
2. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Высоковязкие нефти: анализ пространственных и временных изменений физико-химических свойств // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2005. — № 1. — С. 31–31.
3. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М. Аномальные нефти. — М.: Недра, 1975. — 168 с.
4. Зиновьев А.М., Ольховская В.А., Коновалов В.В., Мардашов Д.В., Тананыхин Д.С., Роцин П.В. Исследование реологических свойств и особенностей фильтрации высоковязких нефтей месторождений Самарской области. Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. № 2(38). С. 197–205.
5. Никитин А.В., Каллин И.В., Ольховская В.А., Роцин П.В., Киреев И.И. Учет неньютоновских свойств высоковязкой нефти в процессе гидродинамического моделирования. Нефтепромысловое дело. 2020. № 12(624). С. 64–69.
6. Ольховская В.А. Подземная гидромеханика. Фильтрация неньютоновской нефти. — М.: ВНИИОЭНГ, 2011. — 224 с.
7. Роцин П.В., Петухов А.В., Васкес Карденас Л.К., Назаров А.Д., Хромых Л.Н. Исследование реологических свойств высоковязких и высокопарафинистых нефтей месторождений Самарской области. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 1. С. 12.
8. Фарманзаде А.Р., Карпунин Н.А., Хромых Л.Н., Евсенкова А.О., Аль-Гоби Г. Исследование реологических свойств высоковязкой нефти Печерского месторождения. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-2(45). С. 116–119.
9. Роцин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / минерально-сырьевой ун-т "Горный". Санкт-Петербург, 2014.
10. McGee B.C.W., Vermeulen F.E. The mechanisms of electrical heating for the recovery of bitumen from oil sands // Journal of canadian petroleum technology. — 2007. — V. 46. — № 01.
11. Max Medina. SAGD: R&D for Unlocking Unconventional Heavy-Oil Resources. The Way Ahead. — Vol. 6. — № 2, — P. 9. — 2010.
12. Рузин Л.М. и др. Технологические принципы разработки залежей аномально вязких нефтей и битумов. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. — 476 с.
13. Speight J.G. Heavy oil production processes. — Gulf Professional Publishing, 2013. — 180 p.
14. Cui G. et al. A review of SAGD technology development and its possible application potential on thin-layer super-heavy oil reservoirs // Geoscience Frontiers. — 2022. — P. 101382.

15. Ибатуллин Р.Р. и др. Развитие технологии парогравитационного воздействия на пласт на примере залежи тяжелой нефти Ашальчинского месторождения // Нефтяное хозяйство. — 2007. — № 7. — С. 40–43.
16. Durkin S.M. et al. Substantiation of the differentiated SAGD technology by the numerical simulation for conditions of the Yaregskoye field (Russian) // Oil Industry Journal. — 2017. — V. 2017. — № 06. — P. 101–103.
17. Дуркин С.М., Меньшикова И.Н., Морозюк О.А. Адаптация технологии термогравитационного дренирования пласта (SAGD) для неоднородных залежей высоковязкой нефти на примере Лыаельской площади Ярегского месторождения // Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности. — 2017. — С. 57–58.
18. Burger J.G. Chemical aspects of in-situ combustion-heat of combustion and kinetics // Society of Petroleum Engineers Journal. — 1972. — V. 12. — № 05. — P. 410–422.
19. Рузин Л.М., Чупров И.Ф. Технологические принципы разработки залежей аномально вязких нефтей и битумов. — Ухта, 2007.
20. Петров Н.А. Обоснование оптимальных параметров термического воздействия на залежи высоковязких нефтей. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ухтинский государственный технический университет. Ухта, 2009.
21. Li Y. et al. A review of in situ upgrading technology for heavy crude oil // Petroleum. — 2021. — Т. 7. — № 2. — С. 117–122.
22. Дарищев В.И., Славкина О.В., Маланий С.Я., Бакуменко Е.А., Недорубов А.В., Широков А.А., Вахин А.В. Результаты и перспективы применения тепловых методов воздействия на месторождения высоковязкой нефти ООО "РИТЭК". Нефть. Газ. Новации. 2022. № 2(255). С. 24–28.
23. Шайхутдинов Д.К., Зарипов А.Т. Изучение влияния темпа закачки пара и времени термокапиллярной пропитки на эффективность работы пароциклических скважин в условиях Ашальчинского месторождения // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. — 2015. — № 1. — С. 76–78.
24. Сидоров И.В., Фоминых О.В., Коротенко В.А. Анализ эффективности применения горизонтальных скважин для добычи высоковязкой нефти месторождения Катангли // Нефтепромысловое дело. — М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2014. — № 10. — С. 24–27.
25. Савчик М.Б., Ганеева Д.В., Распопов А.В. Повышение эффективности пароциклических обработок скважин Верхнепермской залежи Усинского месторождения на основе гидродинамической модели // Недропользование. — 2020. — Т. 20. — № 2. — С. 137–149.
26. Koolman M. et al. Electromagnetic heating method to improve steam assisted gravity drainage // International thermal operations and heavy oil symposium. — OnePetro, 2008.
27. Chugh S. et al. Mainstream options for heavy oil: part I-cold production // Journal of Canadian Petroleum Technology. — 2000. — V. 39. — № 04.

28. Ali S.M.F. Heavy oil — evermore mobile // Journal of Petroleum science and Engineering. — 2003. — V. 37. — № 1-2. — P. 5–9.
29. Дарищев В.И., Харланов С.А., Бабинец Ю.И., Зиновьев А.В., Антонова Д.О. Опыт-промышленные работы по использованию углекислого газа для интенсификации добычи высоковязкой нефти. Нефть. Газ. Новации. 2022. № 2(255). С. 29–34.
30. Khatib A.K., Earlougher R.C., Kantar K. CO₂ injection as an immiscible application for enhanced recovery in heavy oil reservoirs // SPE California Regional Meeting. — OnePetro, 1981.
31. Guo Q. et al. A laboratory approach on the improvement of oil recovery and carbon dioxide storage capacity improvement by cyclic carbon dioxide injection //Energy Reports. — 2021. — V. 7. — P. 1571–1580.
32. Кожин В.Н., Роцин П.В., Никитин А.В., Киреев И.И., Амиров А.А., Хафизов В.М., Смирнов Е.А., Чернова Е.А., Васякин Е.М. Опыт применения реагентов-растворителей для интенсификации добычи нефти на скважинах АО "Самаранефтегаз". Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. № 6.

Ziganshin Rais Shamilevich

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia
E-mail: pauc97@gmail.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1134747

Margachev Danila Andreevich

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia
E-mail: danilama1999@mail.ru

Zinovev Aleksei Mikhailovich

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia
E-mail: lekso1988@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Borisevich Iurii Pavlovich

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia

Nikitin Aleksandr Valerevich

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia
E-mail: nikitin.oil@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025

Sheikina Marina Aleksandrovna

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia
E-mail: wmsheikinam@gmail.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=886713

Improvement of heavy oil field development technologies in modern conditions

Abstract. At the current stage of development, an increasing number of oil and gas and energy companies include in their development strategies goals to reduce greenhouse gas emissions from production activities. This is due to public and shareholder pressure in view of the global average annual temperature increase. Another important factor is the reduction in the number of highly profitable light oil assets in the world. The paper presents the result of an analysis of the relevance of various topics related to the development of heavy oil fields by compiling statistics on publications in the online library of the Society of Petroleum Engineers OnePetro. A growing trend in the number of publications related to carbon dioxide injection has been established. Estimates of the volume of heavy oil reserves from domestic and foreign sources are also presented. It is noted that the world reserves of heavy oil and natural bitumen may exceed one trillion barrels of oil equivalent (according to the US Geological Survey). The features of the rheological properties of heavy oils are described: the presence of thixotropic properties, the initial shear stress, which significantly complicates the development of such objects by traditional methods. The description of a number of physical, chemical and complex technologies of impact on productive formations with heavy oil is presented. Notes the complex effect of the application of technologies of influence on the productive formation with the use of carbon dioxide: reduction and prevention of emission of some greenhouse gases in the technological processes of enhanced oil recovery and economic effect in the form of additional oil production. The authors note that there are increasing risks of commissioning of fields with thermal effect on reservoir, because steady burning of considerable quantity of fuel (associated or natural gas, fuel oil, etc.) is required for production and injection of heating agent (steam, hot water). In view of this, the relevance of development of «cold» methods of stimulation, including gas-cyclic treatment, increases.

Keywords: heavy oil; hard-to-recover reserves; enhanced oil recovery; well workover; research