

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

2020, №2, Том 12 / 2020, No 2, Vol 12 <https://esj.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/10NZVN220.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Хромых Л.Н., Зиганшин Р.Ш., Рогожинский Р.А. К вопросу оперативной интенсификации добычи высоковязкой нефти с применением методов комплексного действия // Вестник Евразийской науки, 2020 №2, <https://esj.today/PDF/10NZVN220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Khromykh L.N., Ziganshin R.Sh., Rogozhinskii R.A. (2020). On the issue of operational intensification of high-viscosity oil production using complex methods. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(12). Available at: <https://esj.today/PDF/10NZVN220.pdf> (in Russian)

УДК 622.2

ГРНТИ 52.47.27

Хромых Людмила Николаевна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

E-mail: khromykh.lud@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=729944

Зиганшин Раис Шамильевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Магистрант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

E-mail: pauc.zig@yandex.ru

Рогожинский Роман Алексеевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Магистрант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

E-mail: rogozhinskii96@mail.ru

К вопросу оперативной интенсификации добычи высоковязкой нефти с применением методов комплексного действия

Аннотация. В данный момент в мире возможно наблюдать процесс изменения структуры запасов углеводородов. В работе приведена информация по ряду факторов с различных источников, подтверждающих наращивание мировой базы с помощью запасов нетрадиционных углеводородов, в рассматриваемом случае запасов высоковязкой нефти.

При этом сохраняется необходимость повышения экономической эффективности разработки подобных активов. Вследствие чего, а также на фоне роста спроса на энергоресурсы, добывающие компании вынуждены изобретать новые и развивать уже имеющиеся технологии добычи.

Наиболее часто применяемыми технологиями на нефтяных месторождениях являются методы интенсификации добычи, так как подобные методы при сравнительно низких затратах позволяют получить приток на скважине как непосредственно после бурения, так и увеличить дебит уже работающей скважины в кратчайшие сроки.

В данной работе рассмотрены наиболее перспективные на сегодняшний день методы интенсификации притока на скважинах месторождений высоковязкой нефти. В условиях

месторождений высоковязких нефтей и высокого содержания в нефтях асфальтеносмолопарафиновых веществ особенно актуальными считаются комплексные методы воздействия.

Проведен краткий обзор таких методов, как подача реагента-растворителя на прием насосного оборудования; комплексная обработка призабойной зоны пласта с помощью растворителя и кислотного состава; различные методы прогрева пласта и его призабойной зоны, отмечается возможность значительного повышения эффективности процессов прогрева при комплексировании их с химическими методами воздействия; также одними из наиболее перспективных отмечены методы основанные на использовании углекислого газа в виде агента закачки.

Вклад авторов.

Хромых Людмила Николаевна – автор осуществил написание статьи.

Зиганшин Раис Шамильевич – автор произвел поиск и анализ необходимой информации. Осуществил написание статьи, совершил перевод на английский язык.

Рогожинский Роман Алексеевич – автор осуществил написание статьи.

Ключевые слова: высоковязкая нефть; кислотная обработка; осложнения; интенсификация притока; трудноизвлекаемые запасы; разработка месторождений; комплексное воздействие; тепловое воздействие; реагент-растворитель; углекислый газ

Ни для кого не секрет, что человечество вступило в эпоху «трудной» нефти, и сегодня значительные запасы и ресурсы углеводородного сырья по тем или иным показателям можно отнести к трудноизвлекаемым. Российская Федерация, по разным оценкам, является лидером по количеству такой нефти [1].

Компании, специализирующиеся на добыче углеводородного сырья, включая и крупные вертикально-интегрированные, имеют в своем «портфеле» масштабные проекты, направленные на разработку залежей с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ).

К ТРИЗ на данный момент возможно отнести высоковязкие нефти, нефти, залегающие в коллекторах с низкой проницаемостью и прочие запасы, содержащиеся в залежах с неблагоприятными для добычи условиями [1].

По данным отчета компании British Petroleum (BP Statistical Review of World Energy 2019) в период с 2007 по 2018 года наблюдается рост добычи и потребления углеводородного сырья как в мире, так и в РФ, несмотря на высокую волатильность рынка сырья.

Рост актуальности вопроса тяжелой и высоковязкой нефти подтверждается статистическими исследованиями, проведенными авторами данной работы при использовании портала operetro.org. Например, авторами работы был проведен сбор данных по статистике упоминания термина «heavy oil» на различных ресурсах. Исследовалось количество упоминаний сочетания «heavy oil» в публикациях с 1960 года по настоящее время. Результаты исследований (рис. 1) говорят о резком увеличении упоминаний тематики по сочетанию (поисковому запросу) «heavy oil» в публикациях инженеров-нефтяников за последние 15 лет.

Рост спроса на энергоресурсы и параллельное истощение ресурсной базы вынуждают добывающие компании изобретать новые и развивать уже имеющиеся технологии для более рентабельной разработки подобных объектов. Наиболее популярными технологиями, применяемыми на «зрелых» активах, являются методы интенсификации добычи, так как они

позволяют получить дополнительный приток жидкости как непосредственно после бурения, так и на базовом фонде скважин в кратчайшие сроки с минимальными инвестициями.

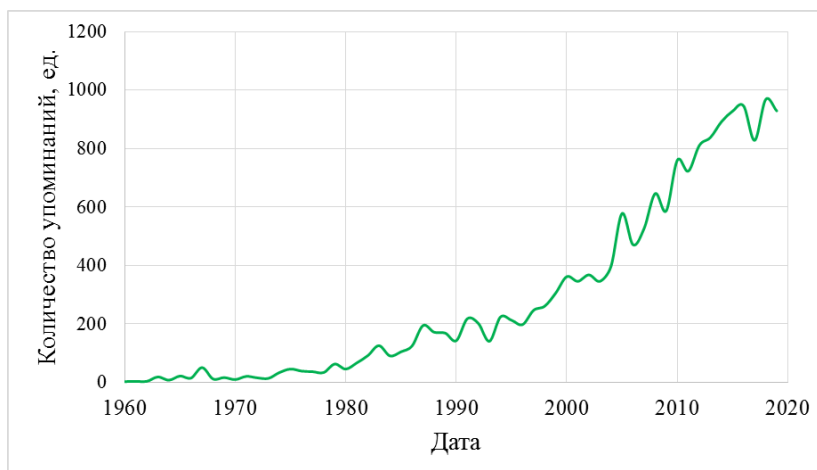
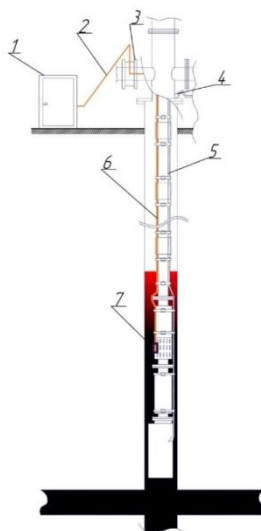


Рисунок 1. Рост упоминания тематики по поисковому запросу «heavy oil» в публикациях на портале onepetro.org

На скважинах месторождений высоковязкой нефти достаточно универсальным и наиболее актуальным методом интенсификации добычи является обработка призабойной зоны пласта (ПЗП) реагентами-растворителями. Приведенный способ позволяет произвести очистку ПЗП от асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО), удалить прочие загрязнения в призабойной зоне пласта (борьба со скин-эффектом) и, как следствие, повысить дебит по жидкости и нефти на скважине. Однако, при проектировании и подготовке подобного метода необходимо обратить внимание на ряд осложняющих аспектов, таких как эффективность реагента, особенно его совместимость с нефтью, а также обводненность скважинной продукции [3–8].

Кроме того, широко применяется метод подачи реагента-растворителя на прием насосного оборудования. Наиболее удобным и эффективным является способ дозирования реагента с помощью капиллярного трубопровода (рис. 2).



1 – дозирующая установка; 2 – наземный трубопровод; 3 – устройство ввода через боковой отвод фонтанной арматуры; 4 – устройство ввода через кабельный ввод фонтанной арматуры; 5 – питающий кабель УЭЦН; 6 – скважинный капиллярный трубопровод; 7 – клапан-распылитель

Рисунок 2. Схема подачи реагента на прием УЭЦН

(<https://research-journal.org/wp-content/uploads/2018/02/01-02-2018-15-14-14.jpg>)

Наиболее часто встречающимся и, по мнению авторов работы, основным осложнением при разработке и эксплуатации месторождений высоковязкой нефти (ВВН) является повышенная вязкость продукции и формирование асфальтеносмолопарафиновых отложений. В связи с чем особенно актуальным является использование реагентов-растворителей как в чистом виде, так и в комплексе с другими технологиями [2–8]. Так, например, при проектировании кислотных обработок ПЗП на скважинах месторождений ВВН необходимо учитывать особенности взаимодействия кислотного состава с нефтью, а именно высокую вероятность активного образования стойких эмульсий (рис. 3), выпадения асфальтеносмолопарафиновых веществ (АСПВ) в поровом пространстве и т. д. В данном случае свести к минимуму возможность возникновения приведенных осложнений позволит закачка растворителя в пласт непосредственно перед проведением кислотной обработки, для формирования оторочки и повышения эффективности взаимодействия кислотного состава с породой пласта-коллектора [2].

При предварительной закачке растворителя эффективность кислотной обработки также повышается за счет отмыва растворителем пленки нефти и АСПО со стенок пор породы-коллектора. Подобный эффект позволяет добиться большей площади контакта и полноты реакции кислотного состава с породой-коллектором и впоследствии увеличить эффективность кислотной обработки.

Однако стоит отметить отсутствие универсальной формулы составов, как растворителя, так и кислотной композиции и, как следствие, необходимость индивидуального подбора и тестирования рецептур под объекты [2].



Рисунок 3. Эмульсия кислоты и нефти

(<https://research-journal.org/wp-content/uploads/2019/09/26-09-2019-10-59-03.jpg>)

Стоит отметить метод комплексного термохимического воздействия описанный в [3; 10]. Тепловое воздействие, наряду с химическим, является одним из самых эффективных методов снижения вязкости нефти. Комплексование данных вариантов воздействия особенно актуально для месторождений сверхвязкой нефти и природного битума, так как позволяет добиться максимального снижения вязкости нефти в пласте при таких методах разработки, как SAGD (рис. 4), циклической закачке пара и прочих [3; 10].

Для повышения эффективности добычи высоковязкой нефти также возможно применение технологий, основанных на прогреве пласта с помощью тепла, генерируемого при прохождении электрического тока через резистивные элементы. Наиболее известными разновидностями, основанными на приведенном принципе, являются:

- повышение температуры в скважине и на её забое с помощью греющего кабеля;
- использование забойного электронагревателя с целью прогрева пласта и его призабойной зоны.

Увеличение температуры с применением греющего кабеля, распределенного по всей длине скважины, используется по большей части для предупреждения выпадения асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО) на стенках насосно-компрессорных труб

(НКТ) скважины. Принцип работы таких греющих кабелей основан на выделении тепла вследствие резистивного нагрева проводника, возникающего при прохождении электрического тока через него.

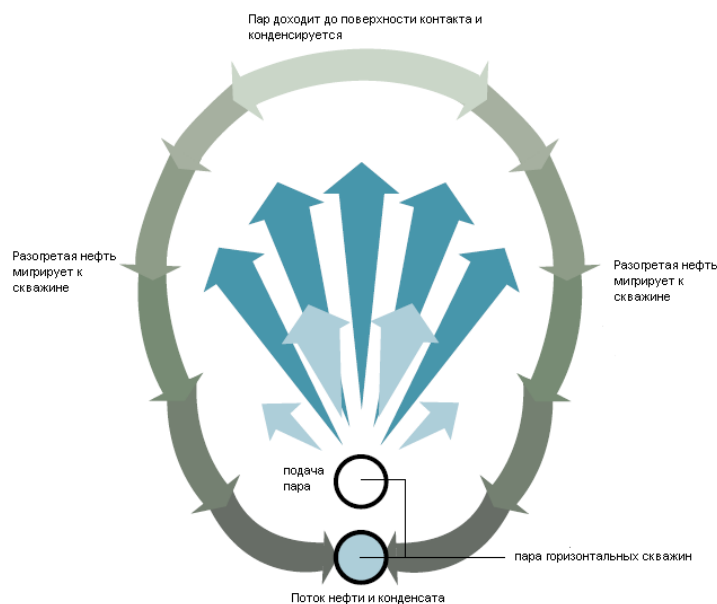
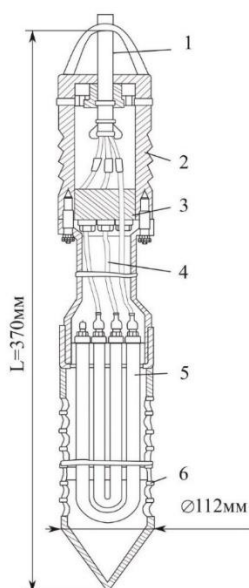


Рисунок 4. Процесс SAGD (http://old.spmi.ru/sites/default/files/lib/sci/aspirant-doctorant/avtoreferaty/2014/dissertaciya_roshchina_pavla_valerevicha.pdf#page=18)

На месторождениях Российской Федерации также нашли широкое применение и забойные электронагреватели (пример оборудования на рис. 5), устройства, спускаемые на забой скважины с целью поднятия там температуры. Нагревательное оборудование помещается ниже насосного оборудования, обычно выше или напротив интервала перфорации. Передача тепловой энергии потоку высоковязкой нефти благоприятно влияет на ее реологические свойства: понижается вязкость и начальное напряжение сдвига, с увеличением температуры исчезают или ослабевают тиксотропные свойства.



1 – грузонесущий кабель; 2 – головка электронагревателя; 3 – гидрофланец; 4 – клеммная жидкость; 5 – электронагревательные элементы; 6 – перфорированный кожух

Рисунок 5. Забойный электронагреватель мобильной станции СУЭПС-1200 (<http://www.spbcса.ru/public/users/994/konf/sbornik-konferencziya-mart-2018.pdf#page=19>)

В настоящее время существует ряд концептов и полезных моделей внутрискважинных нагревателей с применением попутного газа, воздуха и химических реагентов. Однако, широкое распространение получили только электрические нагреватели, в основном с резистивным нагревом [12].

В роли растворителя также может выступать углекислый газ. В особенности в сверхкритическом состоянии углекислый газ обладает отличными диффузионными свойствами, способен эффективно растворять АСПО и значительно снижать вязкость нефти (рис. 6).

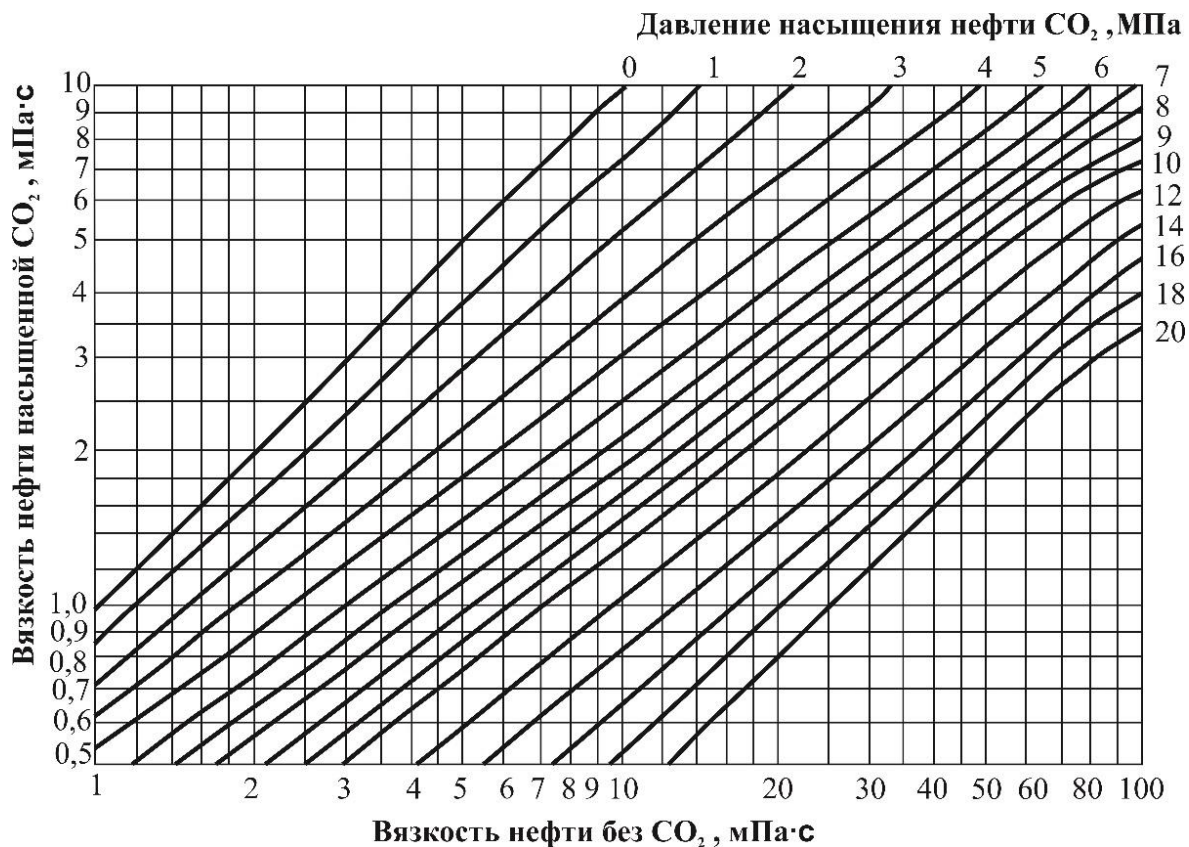


Рисунок 6. Зависимость вязкости нефтей от давления насыщения их двуокисью углерода (https://studfile.net/html/2706/64/html_6vngHyOoUX.KjBV/img-dWOghi.jpg)

На сегодняшний день в числе самых перспективных методов использования CO₂ в нефтедобыче отмечают:

1. Циклическая закачка углекислого газа в пласт (в газообразном, жидком и сверхкритическом состоянии).
2. Вытеснение нефти с помощью CO₂ (в газообразном, жидком и сверхкритическом состоянии).
3. Вытеснение нефти путем закачки в пласт карбонизированной воды (вода, насыщенная CO₂).

Одним из самых серьезных недостатков при применении является высокая коррозионная активность двуокиси углерода, в связи с чем возникает необходимость в использовании особого коррозионностойкого оборудования для хранения, транспортировки и использования углекислого газа в процессах нефтедобычи.

Также присутствует проблема невозможности сжигания попутного нефтяного газа при высоком содержании в нем CO₂. Развитие подобного сценария вполне возможно при использовании углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов [13].

На сегодняшний день многие источники отмечают рост количества разрабатываемых месторождений высоковязкой нефти. Основные проблемы разработки подобных месторождений являются следствием высокой вязкости нефти и высокого содержания АСПВ. Включение методов химического воздействия в комплекс технологий разработки месторождений ВВН в настоящий момент является необходимым, так как их применение повысит вероятность успешных ГТМ [2–8; 14].

В таблице 1 представлена краткая характеристика рассмотренных ранее методов, а также проведена оценка относительной сложности реализации метода, где 1 балл – наименее сложная реализация, 5 баллов – наиболее сложная реализация.

Таблица 1

Краткая характеристика рассмотренных методов интенсификации притока нефти

№	Методы	Влияние на пласт	Влияние на нефть	Слож-ть реализации	Риски применения	Управление рисками
1	Подача реагента на прием УЭЦН	Не влияет	Понижение вязкости нефти; Борьба с АСПО	1 балл	Выпадение осадка при несовместимости реагента с нефтью	Проведение предварительных лабораторных испытаний: реология, «бутылочный тест» и другие
2	ОПЗ с применением кислотных составов	Снижение Skin-фактора. Повышение проницаемости призабойной зоны пласта	Не влияет при правильном подборе компонентов	1 балл	Образование стойких кислых вязких нефтяных эмульсий, из-за чего осложняется освоение скважины	Проведение предварительных лабораторных испытаний: совместимость кислотного состава и нефти, тестирование на керне продуктивного пласта-коллектора. Рекомендуется предварительная закачка реагента-растворителя перед кислотным составом
3	Термохимическое воздействие на пласт	Увеличение коэффициента извлечения нефти при масштабном применении	Внутрипластовое снижение вязкости нефти и начального напряжения сдвига	5 баллов	Не достижение проектного эффекта. Прорывы пара в глубину пласта	Предварительное компьютерное моделирование процесса. Проведение предварительных лабораторных исследований: оценка коэффициента вытеснения, совместимости реагентов с пластовыми флюидами
4	Забойный внутрискважинный электронагреватель	Не влияет	Понижение вязкости нефти; Борьба с АСПО	2 балла	Быстрый выход устройства из строя	Проведение ОПИ на скважинах. Применение химически стойких материалов

№	Методы	Влияние на пласт	Влияние на нефть	Слож-ть реализации	Риски применения	Управление рисками
5	Циклическая закачка CO ₂	Увеличение коэффициента извлечения нефти при масштабном применении	Внутрипластовое снижение вязкости нефти и начального напряжения сдвига	5 баллов	Выпадение осадка при растворении CO ₂ в нефти. Высокая коррозионная активность CO ₂	Проведение предварительных лабораторных испытаний: совместимость CO ₂ и нефти, подбор коррозионностойкого оборудования

Таким образом, на основе проанализированного материала возможно сделать следующие выводы:

1. По причине недостаточного мирового опыта разработки месторождений высоковязкой нефти данное направление является стратегически важным как для государства, так и для различных нефтедобывающих компаний.
2. Интенсификация добычи высоковязкой нефти – процесс, требующий комплексного подхода для получения результатов. Широкий выбор реагентов, способов их применения и комплексных технологий воздействия на пласт и нефть не должны создавать впечатления об универсальности применения этих инструментов для увеличения добычи нефти. Реагенты и технологии должны быть испытаны в лабораторных условиях для предотвращения возникновения осложнений при их применении на объекте.
3. Зачастую применение химических реагентов для различных целей повышения эффективности добычи высоковязкой нефти позволяет обойтись без крупных капитальных вложений в оборудование. Например, это указанная выше технология дозирования понизителей вязкости на прием насосов в скважину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шмелев П., ТРИЗ как объективная реальность // Сибирская нефть. 2018. №2. С. 19–29.
2. Зиновьев А.М., Литвин А.Т., Никитин А. В. Особенности применения кислотных обработок для интенсификации добычи высоковязкой нефти // Вестник евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – №. 4. – С. 35–35.
3. Роцин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами. диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.17 / минерально-сырьевой ун-т "Горный". Санкт-Петербург, 2014.
4. Roschin P.V., Zinoviev A.M., Struchkov I.A., Kalinin E.S., Dziwornu C.K. Solvent selection based on the study of the rheological properties of oil. Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 6–1 (37). С. 120–122.
5. Зиновьев А.М., Бормонтов А.А., Роцин П.В., Литвин В.Т., Рязанов А.А. Анализ результатов опытно-промышленных испытаний реагента-растворителя на Стреловском месторождении высоковязкой нефти. Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 11–3 (65). С. 142–147.

6. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Обзор применения растворителей в процессе добычи высоковязкой нефти и природного битума. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 7–4 (49). С. 163–167.
7. Зиновьев А.М., Литвин А.Т., Никитин А.В. Оценка возможности применения реагентов-растворителей на стадии проектирования разработки месторождения для оптимизации добычи высоковязкой нефти. Вестник евразийской науки. 2018. Т. 10. № 5. С. 77.
8. Стручков И.А. Обоснование технологии предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений в скважинах с использованием поверхностно-активных веществ. автореферат дис. ... кандидата технических наук / Нац. минерально-сырьевой ун-т "Горный". Санкт-Петербург, 2016.
9. 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.
10. А.Т. Зарипов, А.Н. Береговой, Д.К. Шайхутдинов, Н.А. Князева, А.А. Бисенова, Н.Г. Ибрагимов. Исследование эффективности применения растворителей при разработке залежей сверхвязкой нефти пароциклическими горизонтальными скважинами. Сборник научных трудов ТатНИПИнефть. Выпуск №LXXXVII. – М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2019. – 340 с. с. 60–66.
11. 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.
12. Хромых Л.Н., Никитин А.В., Литвин А.Т. Современные способы увеличения нефтеотдачи с применением технологий электропрогрева // Генезис научных воззрений в контексте парадигмы устойчивого развития. – 2018. – С. 16–20.
13. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов. Вестник евразийской науки. 2018. Т. 10. № 5. С. 82.
14. 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.

Khromykh Liudmila Nikolaevna

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: khromykh.lud@yandex.ru

Ziganshin Rais Shamilevich

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: pauc.zig@yandex.ru

Rogozhinskii Roman Alekseevich

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: rogozhinskii96@mail.ru

On the issue of operational intensification of high-viscosity oil production using complex methods

Abstract. Currently, in the world it is possible to observe the process of changing the structure of hydrocarbon reserves. The paper provides information on a number of factors from various sources, confirming the growth of the world base with the help of non-conventional hydrocarbon reserves, in this case high-viscosity oil reserves.

At the same time, there remains a need to increase the economic efficiency of developing such assets. As a result of this, as well as amid growing demand for energy resources, mining companies are forced to invent new and develop existing production technologies.

The most commonly used technologies in oil fields are production stimulation methods, since such methods at relatively low costs make it possible to obtain inflows to the well immediately after drilling and to increase the flow rate of an already operating well in the shortest possible time.

In this paper, we consider the most promising today methods of stimulating the influx of high-viscosity oil fields into wells. In the conditions of deposits of highly viscous oils and a high content of asphaltene-tar-paraffin substances in oils, complex methods of exposure are considered especially relevant.

A brief review of such methods as supplying a reagent-solvent to the intake of pumping equipment; complex treatment of the bottomhole formation zone with a solvent and acid composition; various methods of heating the formation and its bottom zone, the possibility of a significant increase in the efficiency of heating processes when combined with chemical methods of exposure; methods based on the use of carbon dioxide in the form of an injection agent were also noted as one of the most promising.

Keywords: high-viscosity oil; acid treatment; complications; stimulation of inflow; hard-to-recover reserves; field development; complex methods; thermal treatment; solvent; carbon dioxide