

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

2021, №2, Том 13 / 2021, No 2, Vol 13 <https://esj.today/issue-2-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/24SAVN221.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Рощин П.В., Зиновьев А.М., Рязанов А.А., Соболева Е.И., Никитин А.В., Мурзаханов А.Р. Повышение эффективности добычи высоковязкой нефти с использованием реагентов-растворителей: лабораторные испытания и внедрение на производстве // Вестник Евразийской науки, 2021 №2, <https://esj.today/PDF/24SAVN221.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Roshchin P.V., Zinovev A.M., Riazanov A.A., Soboleva E.I., Nikitin A.V., Murzakhanov A.R. (2021). Improving the efficiency of heavy oil production using solvents: laboratory tests and implementation in oil production. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(13). Available at: <https://esj.today/PDF/24SAVN221.pdf> (in Russian)

Рощин Павел Валерьевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: pv.roschin@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=699878

Зиновьев Алексей Михайлович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
ООО «Акрбия Лаб», Самара, Россия
Генеральный директор
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: org@akribialab.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Рязанов Арсентий Алексеевич

ООО «РИТЭК»
Центральный офис в г. Волгоград, Волгоград, Россия
Начальник отдела
E-mail: aryazanov@ritek.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=878471

Соболева Елена Ивановна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Ведущий инженер
E-mail: soboleva.ei@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439320

Никитин Александр Валерьевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Магистрант
E-mail: Nikitin.oil@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025

Мурзаханов Алексей Рыфкатьевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Магистрант
E-mail: a.murzakhanov@list.ru

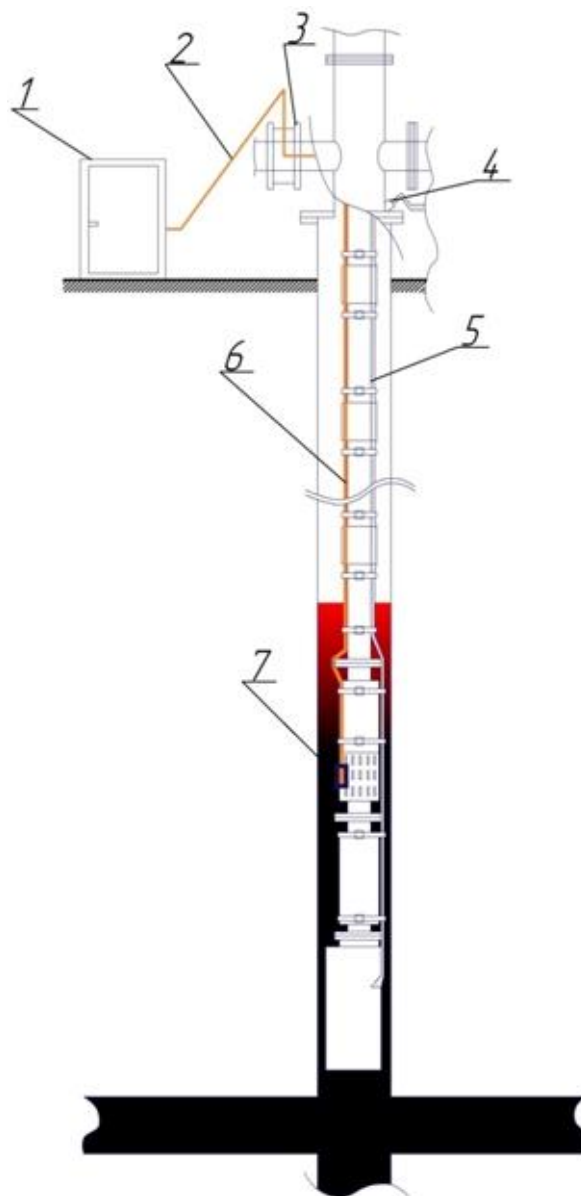
Повышение эффективности добычи высоковязкой нефти с использованием реагентов-растворителей: лабораторные испытания и внедрение на производстве

Аннотация. В настоящее время отмечается повышение интереса добывающих компаний к расширению своей ресурсной базы за счет ввода в разработку объектов с трудноизвлекаемыми запасами высоковязкой нефти. Однако, добыча нефти на таких объектах зачастую сопровождается рядом осложнений, связанных с физико-химическими свойствами скважинной продукции: высокой вязкостью по сравнению с традиционными маловязкими нефтями, затрудняющей ее добычу и транспортировку, склонностью к образованию стойких вязких эмульсий с попутно добываемой водой, наличием повышенного содержания асфальтенов, смол и парафинов, которые активно формируют органические отложения при понижении температуры и давления. Всё это приводит к росту энергопотребления при добыче нефти, увеличению нагрузки на глубинно-насосное оборудование, аварийным остановкам насосов по перегрузке и высокому давлению в выкидных линиях. В данной работе рассмотрены результаты лабораторных и промысловых испытаний линейки реагентов-растворителей «Акрис», предназначенных для борьбы с осложнениями при добыче высоковязкой нефти. Рассмотрено влияние реагентов на реологические свойства нефти, представлены результаты промышленного применения реагентов на месторождениях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Результатами исследований и промысловых испытаний доказано, что применение реагентов-растворителей «Акрис» позволяет снижать вязкость добываемой нефти на различных месторождениях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. При этом, согласно результатам применения на различных объектах, проявляются такие дополнительные положительные эффекты, как понижение нагрузки на двигатели погружных электроцентробежных насосов, увеличение скорости разделения водонефтяной эмульсии, увеличение межремонтного периода работы скважин, отсутствие негативного влияния на эластомер винтового насоса.

Ключевые слова: высоковязкая нефть; интенсификация добычи нефти; винтовой насос; трудноизвлекаемые запасы; асфальтеносмолопарафиновые отложения; углеводородный растворитель; снижение вязкости нефти; эластомер

Мировой спрос на энергоресурсы растет с каждым годом, при этом значительную долю потребляемых ресурсов по-прежнему составляют углеводороды. По данным «BP Statistical Review of World Energy 2018» на период с 2007 по конец 2017 года наблюдается непрерывное нарастание запасов нефти в глобальной сырьевой базе (1427,1 млн барр. и 1696,6 млн барр., соответственно). В современном мире подобный рост в большей степени обусловлен не открытием абсолютно новых месторождений, а введением в разработку запасов на уже известных объектах. Это происходит в связи с пересмотром прежних оценок запасов с учетом современных технологий повышения нефтеотдачи пластов, разбуриванием более глубоких нефтеносных пластов. Также росту запасов в глобальной сырьевой базе способствует включение в баланс ранее нерентабельных мелких месторождений и месторождений с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ). По данным Минэнерго Российской Федерации, уже в 2013 году доля ТРИЗ в России составила более 65 % от общего объема доказанных запасов и продолжает расти. Ситуация, сложившаяся на данный момент в энергетической отрасли, подталкивает добывающие компании к развитию новых и уже имеющихся в распоряжении,

технологий повышения эффективности добычи углеводородов, в частности ТРИЗ, а также месторождений с высоковязкой нефтью и природным битумом [1; 2].



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

Рисунок 1. Схема подачи реагента на прием УЭЦН [11]

Добыча высоковязких нефтей зачастую сопровождается рядом осложнений: высокая вязкость нефти в пластовых условиях не позволяет достигать высоких дебитов добывающих скважин (по сравнению с добычей на объектах легкой маловязкой нефти), кроме того ВВН склонны к образованию стойких вязких и стабильных эмульсий с пластовой водой, повышенное содержание в их составе асфальтенов, смол и парафинов приводит к образованию отложений при изменении условий – давления и температуры [3–7]. Лабораторными исследованиями доказано наличие у ряда высоковязких нефтей Волго-Уральской нефтегазоносной провинции неньютоновских свойств [7–10]. Для повышения эффективности добычи таких нефтей применяются различные технологии, например дозирование реагентов (ингибиторы асфальтеносомолопарафиновых отложений, деэмульгаторы, углеводородные

растворители и т. д.) в затрубное пространство и на прием глубинного насоса по капиллярной трубке, применение нагревательного кабеля для прогрева насосно-компрессорных труб, глубинных скважинных нагревателей, устанавливаемых на забое скважины [11–13]. Одним из наиболее простых способов изменить реологические свойства добываемой высоковязкой нефти является применение углеводородных растворителей или скважинных нагревателей различных видов [9; 11; 14; 15].

Целью данной работы является анализ эффективности применения реагентов-растворителей линейки «Акрис», разработанных для повышения эффективности добычи и внутрипромыслового транспорта высоковязкой нефти и природного битума.

Линейка реагентов-растворителей «Акрис» была разработана в 2017 году для применения на месторождениях высоковязкой нефти для решения ряда задач: снижение вязкости высоковязкой нефти в процессе добычи и транспортировки, применение в термических методах воздействия на пласт (парогравитационное дренирование, пароциклические обработки скважин и т. д.).

Описание некоторых реагентов из разработанной линейки:

- «Акрис» (базовый, унифицированный) разработан для повышения эффективности добычи высоковязких нефтей, а также оптимизации работы насосного оборудования на месторождениях высоковязкой нефти.
- «Акрис Кавити Памп» (Akris Cavity Pump) разработан для повышения эффективности добычи сверхвязких нефтей и природных битумов с использованием винтовых насосов, отличающийся повышенной концентрацией поверхностно-активного вещества в своем составе. В состав реагента «Акрис кавити памп» входят диспергаторы асфальтеносмолопарафиновых веществ. Применяется для подачи на прием глубинного винтового насоса с обоймой из эластомера.
- «Акрис Экстра Хеви» (Akris Extra Heavy) разработан для повышения эффективности транспортировки сверхвязких нефтей и природных битумов. Отличается повышенной концентрацией поверхностно-активного вещества и ароматических углеводородов в своем составе.
- «Акрис 100» (Akris 100) является недорогим базовым реагентом-растворителем, предназначенным для повышения эффективности транспортировки высоковязкой нефти при низких температурах.
- «Акрис Стим» (Akris Steam) разработан для повышения эффективности пароциклических обработок скважин путем закачки его первой пачкой в скважину и последующей продавкой паром. Также может применяться при площадной закачке пара и в процессах парогравитационного дренирования (Steam-Assisted Gravity Drainage).

Традиционно выбору подходящего реагента-растворителя предшествует анализ возникающих при добыче осложнений на месторождении высоковязкой нефти. Обычно это повышенная нагрузка на глубиннонасосное оборудование (определяется по показаниям станции управления насосным оборудованием), активное формирование асфальтеносмолопарафиновых отложений на забое скважины, в зоне перфорации, насосно-компрессорных трубах и наземных коммуникациях, формирование стойких вязких водонефтяных эмульсий, сложности при наливе продукции в автоцистерны. Затем отмечаются выбранные цели применения реагентов, осуществляется предварительный выбор на основе анализа состава нефти. При этом особое внимание уделяется содержанию в нефти асфальтенов,

смола и парафинов, а также способа эксплуатации. Например, эластомеры обойм винтовых насосов различаются по химическому составу и стойкости к ароматическим соединениям [16]. Это позволяет заранее ограничить выбор реагентов из линейки разработанной промышленной химии для сокращения объемов лабораторных испытаний.

Для выбора наилучшего реагента для применения в конкретных условиях выполнялись предварительные лабораторные исследования. При изучении образцов месторождений 1–4 эксперимент выполнялся следующим образом: в ротационный вискозиметр помещался образец нефти, затем термостабилизировался до постоянной температуры (20 °С). Устанавливалось постепенное линейное увеличение скорости ротора вискозиметра по линейному закону от 0 с⁻¹ до 100 с⁻¹ в течение 100 секунд (100 точек). Таким же образом испытания проводились и при других температурах. Все испытания проводились при атмосферном давлении. Испытания реагентов на вискозиметре при атмосферном давлении и температуре 20 °С позволяют сравнивать результаты исследований на различных образцах высоковязких нефтей. Для определения влияния реагента-растворителя на образец высоковязкой нефти производится дозирование в образец высоковязкой нефти в различных концентрациях. Исследования образца нефти с добавленным реагентом-растворителем проводятся аналогично исследованиям чистого образца сырой нефти.

Таблица 1

**Данные по испытаниям реагентов линейки
«Акрис» в лабораторных условиях и на промыслах**

Месторождение	Асфальтены; смолы; парафины, конц. масс. %	Вязкость нефти, мПа·с при 20 °С	Осложнения при добыче	Рекомендованный к применению реагент	Результаты лабораторных испытаний	Результаты промысловых испытаний
1	<ul style="list-style-type: none"> ● 23,51 ● 19,78 ● 3,36 	46500	<ul style="list-style-type: none"> ● нефть с неньютоновскими свойствами ● рост давления в выкидных линиях скважин ● повышенная нагрузка на насосное оборудование ● возможно образование стабильных высоковязких эмульсий нефти и воды ● интенсивное образование АСПО смолистого типа 	«Акрис Стим» (3 % масс.)	снижение вязкости в 4,51 раза при 20 °С	промысловые испытания не запланированы ввиду переноса сроков ввода в эксплуатацию
2	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,5 ● 10,5 ● 4,3 	8511,2	<ul style="list-style-type: none"> ● рост давления в выкидных линиях скважин ● повышенная нагрузка на ЭЦН из-за высокой вязкости нефти ● образование стойкой вязкой эмульсии и осложнение транспортировки продукции ● интенсивное образование АСПО смолистого типа 	«Акрис» (2 % об.)	снижение вязкости нефти в среднем в 3 раза при 20 °С	<ul style="list-style-type: none"> ● снижение вязкости ВВН от 2 до 4,2 раза при дозировании на прием насоса ● понизилась нагрузка на двигатель насоса
3	<ul style="list-style-type: none"> ● 3,6 ● 31,5 ● 6,8 	2720,1	<ul style="list-style-type: none"> ● ожидаемые осложнения: ● рост давления в выкидных линиях скважин ● повышенная нагрузка на ЭЦН из-за высокой вязкости нефти ● интенсивное образование АСПО смолистого типа 	«Акрис Экстра Хеви» (2 % об.)	снижение вязкости нефти в среднем в 1,6 раза при 20 °С	промысловые испытания не запланированы ввиду переноса сроков ввода объекта в эксплуатацию

Месторождение	Асфальтены; смолы; парафины, конц. масс. %	Вязкость нефти, мПа·с при 20 °С	Осложнения при добыче	Рекомендованный к применению реагент	Результаты лабораторных испытаний	Результаты промысловых испытаний
4	<ul style="list-style-type: none"> • 8,95 • 10,31 • 3,54 	3005	<ul style="list-style-type: none"> • слом насосных штанг винтовых насосов вследствие отложений смолистого типа на внутренней поверхности НКТ • стабильная высоковязкая эмульсия не разделяется при отстаивании • осложнения при транспортировке нефти в зимнее время • интенсивное образование АСПО смолистого типа 	«Акрис Кавити Памп» (2 % об.)	<ul style="list-style-type: none"> • снижение вязкости нефти в 1,318 раза при 20 °С • в ходе исследования доказано отсутствие влияния реагента на материал эластомера винтового насоса 	<ul style="list-style-type: none"> • снижение вязкости нефти до 10 раз по результатам исследования устьевых проб нефти при непрерывном дозировании • отсутствие аварийных ситуаций со сломом насосных штанг • успешное отделение воды от нефти в высоковязкой эмульсии • установлены дополнительные антикоррозионные свойства

Составлено/разработано автором

В связи с тем, что добыча нефти на месторождении 4 ведется с использованием винтовых насосов, эластомер которых может быть чувствительным к химическим реагентам, применяемым для понижения вязкости и борьбы с АСПО, были проведены испытания на образцах эластомера. Нефтедобывающей компанией был предоставлен образец эластомера насоса. Были подготовлены образцы эластомера. Кубики были помещены в баночки с образцами реагентов таким образом, чтобы слой растворителя над каждым был минимум 1 см. Образцы выдерживались в течение 14 дней, при этом за ними велось наблюдение. Температура проведения эксперимента была стабильной и составляла 25 °С.

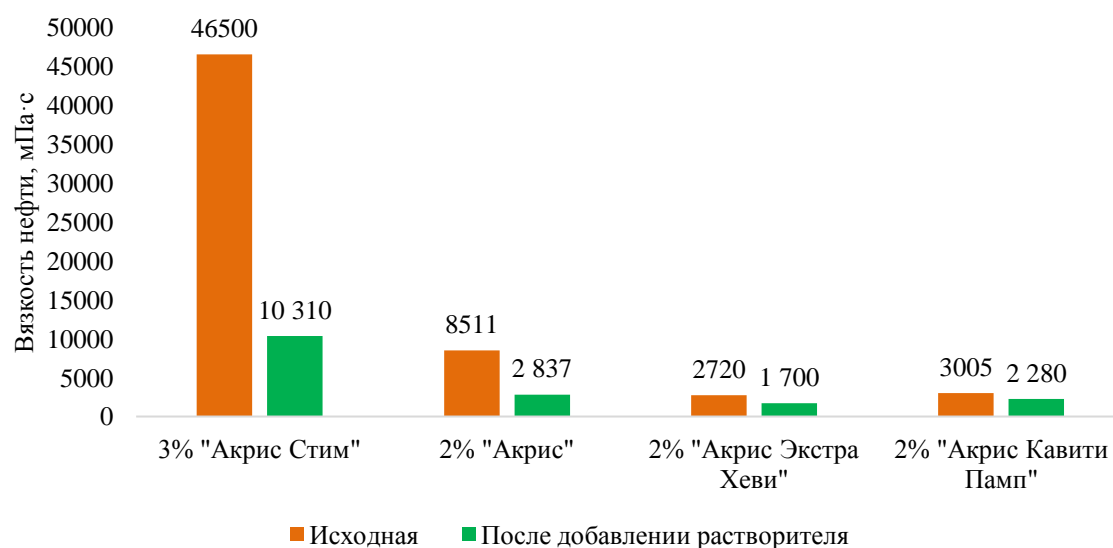


Рисунок 2. Сравнение вязкости различных образцов высоковязкой нефти до и после добавления реагентов-растворителей «Акрис» в объемной концентрации 2 и 3 % (составлено-разработано автором)

В рамках испытания отслеживалось изменение цвета жидкости, наличие размягчения, возможные деформации, визуально – появление пористости и другие факторы, по которым можно судить о негативных изменениях в образцах, их разрушении. Проведенные испытания показали, что разрушения эластомера отсутствуют, что было доказано как в лабораторных условиях, так и при длительном применении реагента для дозирования на прием винтового насоса (более 1 года).

Результаты проведенных лабораторных и промысловых испытаний представлены в таблице 1.

Результаты лабораторных и промысловых испытаний представленных реагентов демонстрируют дополнительную возможность использования растворителей линейки «Акрис» в том числе для повышения эффективности разделения водонефтяных эмульсий. Ввиду особенностей химического состава, данные реагенты обладают комплексным действием на скважинную продукцию: снижают вязкость высоковязкой нефти путем растворения и диспергирования асфальтенов, смол и парафинов, а также способствуют ускоренному отделению воды от нефти.

Выводы

1. В ходе лабораторных испытаний было установлено, что дозирование реагентов-растворителей «Акрис» в образцы высоковязкой нефти в объемной концентрации 2 % позволяет снизить вязкость от 1,3 раза до 3 раз при 20 °С. Дозирование реагента в образец высоковязкой нефти с вязкостью 46500 мПа·с в объемной концентрации 3 % позволяет снизить вязкость нефти в 4,5 раза при 20 °С. Таким образом, лабораторными испытаниями доказано влияние реагентов «Акрис» на вязкость образцов высоковязкой нефти с различных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

2. Промысловыми испытаниями доказано, что применение реагентов-растворителей «Акрис» позволяет снижать вязкость добываемой нефти на различных месторождениях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. При этом, согласно результатам применения на различных объектах, проявляются такие дополнительные положительные эффекты, как понижение нагрузки на двигатели погружных электроцентробежных насосов, увеличение скорости разделения водонефтяной эмульсии, увеличение межремонтного периода работы скважин.

3. Положительный опыт длительного применения реагента «Акрис Кавити Памп» для дозирования на прием глубинного винтового насоса показал отсутствие его негативного влияния на эластомер. Однако, для принятия решений о возможности применения реагента на других объектах необходимо проведение предварительных лабораторных испытаний на совместимость реагента и эластомера глубинного насоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башкирцева Н.Ю. Высоковязкие нефти и природные нефти / Н.Ю. Башкирцева // Вестник Казанского технологического университета. 2014. – Т. 17. – №19. – С. 296–299.
2. Гилаев Г.Г., Афанасьев И.С., Павлов В.А., Саляев В.В., Стрельцов Ф.С., Хамитов И.Г. Начало нового этапа в освоении месторождений высоковязких нефтей и природных битумов в России. Нефтяное хозяйство. 2011. №6. С. 6–9.
3. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М. Аномальные нефти. – М.: Недра, 1975. – 168 с.

4. Кондрашева Н.К., Байталов Ф.Д., Бойцова А.А. Сравнительная оценка структурно-механических свойств тяжелых нефтей Тимано-Печорской провинции // Записки Горного института. 2017.
5. Ольховская В.А. Подземная гидромеханика. Фильтрация неньютоновской нефти. учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 130503 "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений" направления подготовки специалистов 130500 "Нефтегазовое дело", по представлению Ученого совета ГОУ ВПО "Самарский государственный технический университет" / В.А. Ольховская. Москва, 2011.
6. Стручков И.А. Обоснование технологии предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений в скважинах с использованием поверхностно-активных веществ. дисс. кандидата технических наук / Нац. минерально-сырьевой ун-т "Горный". Санкт-Петербург, 2016.
7. 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.
8. Зиновьев А.М., Ольховская В.А., Ильин И.В. Экспериментальные исследования реологически сложной нефти месторождений Самарской области (Россия). Нефтепромысловое дело. 2017. №2. С. 31–38.
9. Рошин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2014. – 112 с.
10. Рошин 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.
11. Зиновьев А.М., Бормонтов А.А., Рошин 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.
12. 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.
13. Никифоров А.А. Борьба с осложнениями при добыче нефти в ТПП «РИТЭК-Самара-Нафта». Инженерная практика. №10/2015 <https://glavteh.ru>.
14. Bayestehparvin B. et al. Solvent-Based and Solvent-Assisted Recovery Processes: State of the Art // SPE Reservoir Evaluation & Engineering. – 2019. – Т. 22. – №. 01. – С. 29–49. <https://doi.org/10.2118/179829-PA>.
15. Butler R.M. et al. A new process (VAPEX) for recovering heavy oils using hot water and hydrocarbon vapour // Journal of Canadian Petroleum Technology. – 1991. – Т. 30. – №. 01.
16. Тимашев Э.О., Ямалиев В.У. Анализ причин разрушения эластомеров обойм винтовых насосов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2005. №2. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Timashev/Timashev_1.pdf.

Roshchin Pavel Valerevich

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: pv.roschin@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=699878

Zinovev Aleksei Mikhailovich

Samara state technical university, Samara, Russia
Akribia Lab LLC, Samara, Russia
E-mail: org@akribialab.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Riazanov Arsentii Alekseevich

RITEK LLC
Central office in Volgograd, Volgograd, Russia
E-mail: aryazanov@ritek.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=878471

Soboleva Elena Ivanovna

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: soboleva.ei@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439320

Nikitin Aleksandr Valerevich

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: Nikitin.oil@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025

Murzakhanov Aleksei Ryfkatevich

Samara state technical university, Samara, Russia
E-mail: a.murzakhanov@list.ru

Improving the efficiency of heavy oil production using solvents: laboratory tests and implementation in oil production

Abstract. There is an increase in the interest of oil companies to expand their resource base by putting into development reservoirs of heavy oil. However, oil production at such facilities is often accompanied by a number of complications associated with the physicochemical properties of well production: high viscosity of heavy oil, which complicates its production and transportation, a tendency to form stable viscous emulsions with associated water, the presence of an increased content of an asphaltenes, resins and paraffins, which actively form organic deposits when temperature and pressure drop. All this leads to an increase in energy consumption during oil production, an increase in the load on downhole pumping equipment, emergency pump stops due to overload and high pressure in the flow lines. This paper discusses the results of laboratory and field tests of the line of solvents "Akris", designed to control complications in the production of heavy oil. The influence of reagents on the rheological properties of oil is considered, the results of industrial use of reagents in the fields of the Volga-Ural oil and gas province are presented.

The results of research and field tests have proven that the use of «Akris» reagents-solvents makes it possible to reduce the viscosity of the oil produced in various fields of the Volga-Ural oil and gas province. At the same time, according to the results of application at various objects, additional positive effects are manifested, such as a decrease in the load on the motors of submersible electric centrifugal pumps, an increase in the separation rate of an oil-water emulsion, an increase in the turnaround time of wells, and the absence of a negative effect on the elastomer of the screw pump.

Keywords: heavy oil; oil well stimulation; cavity pump; hard-to-recover reserves; asphaltene-resin-paraffin deposits; hydrocarbon solvent; oil viscosity reduction; elastomer