

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

2019, №4, Том 11 / 2019, No 4, Vol 11 <https://esj.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/44NZVN419.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Зиновьев А.М., Литвин А.Т., Никитин А.В. Особенности применения кислотных обработок для интенсификации добычи высоковязкой нефти // Вестник Евразийской науки, 2019 №4, <https://esj.today/PDF/44NZVN419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Zinovev A.M., Litvin A.T., Nikitin A.V. (2019). Features of acid treatments use to intensify the high-viscosity oil production. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(11). Available at: <https://esj.today/PDF/44NZVN419.pdf> (in Russian)

УДК 622.2

ГРНТИ 52.47.27

**Зиновьев Алексей Михайлович**

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

Заместитель заведующего по учебной работе

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [lekso1988@yandex.ru](mailto:lekso1988@yandex.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=327270](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270)

**Литвин Александр Тарасович**

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

Студент

E-mail: [oil\\_litvin@mail.ru](mailto:oil_litvin@mail.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=920587](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=920587)

**Никитин Александр Валерьевич**

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

Студент

E-mail: [Nikitin.oil@yandex.ru](mailto:Nikitin.oil@yandex.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=877025](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=877025)

## **Особенности применения кислотных обработок для интенсификации добычи высоковязкой нефти**

**Аннотация.** Ежегодное повышение спроса на энергоресурсы в совокупности с изменением структуры запасов нефти дает компаниям-операторам дополнительный стимул к созданию новых и улучшению уже существующих технологий разработки и интенсификации притока углеводородов в условиях коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами, в том числе и высоковязкая нефть.

Авторами представлен анализ проблем возникающих при проведении кислотных обработок в целом и особенностей при воздействии на пласты, содержащие высоковязкую нефть. Рассмотрены методы предотвращения осложнений при проведении работ по интенсификации высоковязкой нефти с применением кислотных составов.

В статье приведены примеры технологий, которые направлены на повышение эффективности кислотных обработок терригенных коллекторов с высоковязкой нефтью. Многие специалисты предлагают использовать поочередную закачку растворов поверхностно-активных веществ, щелочи и кислот. Другие же предлагают технологии для борьбы с

поступлением кислоты в высокопроницаемые каналы фильтрации пластовых флюидов в продуктивных пластах кавернозно-трещиноватых коллекторов и соответственно с прорывами подстилающих вод. В работе также рассмотрен опыт применения волновых методов воздействия на пласт совместно с закачкой кислотных составов. Выделены положительные и отрицательные стороны такого метода.

Приведены результаты анализа месторождений Самарской области и выявлены актуальные для подбора кислотных составов объекты.

**Ключевые слова:** высоковязкая нефть; кислотная обработка; осложнения; интенсификация притока; трудноизвлекаемые запасы; разработка месторождений; комплексное воздействие

Ежегодное повышение спроса на энергоресурсы в совокупности с изменением структуры запасов нефти дает компаниям-операторам дополнительный стимул к созданию новых и улучшению уже существующих технологий разработки и интенсификации притока углеводородов в условиях коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами, в том числе и высоковязкая нефть.

В работе представлен анализ проблем возникающих при проведении кислотных обработок в целом и особенностей при воздействии на пласты, содержащие высоковязкую нефть. Рассмотрены методы предотвращения осложнений при проведении работ по интенсификации высоковязкой нефти с применением кислотных составов.

Также в статье приведены примеры технологий, которые направлены на повышение эффективности кислотных обработок терригенных коллекторов с высоковязкой нефтью. Многие специалисты предлагают использовать поочередную закачку растворов поверхностно-активных веществ, щелочи и кислот. Другие же предлагают технологии для борьбы с поступлением кислоты в высокопроницаемые каналы фильтрации пластовых флюидов в продуктивных пластах кавернозно-трещиноватых коллекторов и соответственно с прорывами подстилающих вод. В работе также рассмотрен опыт применения волновых методов воздействия на пласт совместно с закачкой кислотных составов. Выделены положительные и отрицательные стороны такого метода.

Приведены результаты анализа месторождений Самарской области и выявлены актуальные для подбора кислотных составов объекты.

Согласно данным компании British Petroleum (BP Statistical Review of World Energy 2018) на период с 2007 по конец 2017 года, несмотря на общую тенденцию к увеличению темпов добычи (82330 тыс. барр./сут. против 92649 тыс. барр./сут.), в частности в странах СНГ, наблюдается непрерывное нарастание запасов нефти в глобальной сырьевой базе (1427,1 млн барр. и 1696,6 млн барр., соответственно). Однако, на сегодняшний день данный прирост происходит в большей степени за счет введения в разработку запасов на уже известных объектах, нежели за счет открытия абсолютно новых месторождений [1]. Это происходит в связи с пересмотром прежних оценок запасов с учетом современных технологий повышения нефтеотдачи пластов, разбуриванием более глубоких нефтеносных пластов, включением в баланс ранее нерентабельных запасов мелких месторождений, а также с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ). По данным Минэнерго РФ уже в 2013 году доля ТРИЗ в России составила более 65 % от общего объема доказанных запасов и продолжает расти.

Согласно распоряжению Правительства РФ № 700-р от 3 мая 2012 г. выделяются четыре категории проектов по добыче трудноизвлекаемой нефти, определенных на основе показателей проницаемости коллекторов и вязкости нефти:

1. проекты по добыче нефти из коллекторов с низкой проницаемостью в интервале от 1,5 до 2 мД включительно (от  $1,5 \cdot 10^{-3}$  до  $2 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> включительно);
2. проекты по добыче нефти из коллекторов с крайне низкой проницаемостью в интервале от 1 до 1,5 мД включительно (от  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> включительно);
3. проекты по добыче нефти из коллекторов с предельно низкой проницаемостью до 1 мД включительно (до  $1 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> включительно);
4. проекты по добыче сверх вязкой нефти с вязкостью в пластовых условиях более 10 000 мПа·с.

В свою очередь, согласно данным [2], запасы высоковязкой нефти (ВВН) в целом по миру значительно превышают запасы легкой и маловязкой нефти и составляют не менее 1 трлн тонн. Россия также обладает значительными запасами ВВН, которые составляют около 1,8 млрд тонн тяжелой высоковязкой нефти и 4,5 млрд тонн нефти в битуминозных песках [3].

Увеличение спроса на энергоресурсы растет с каждым годом несмотря на все геополитические проблемы. Помимо этого, компании операторы вынуждены заниматься развитием новых и текущих технологий повышения эффективности добычи углеводородов по причине существенного увеличения доли ТРИЗ в портфеле компаний.

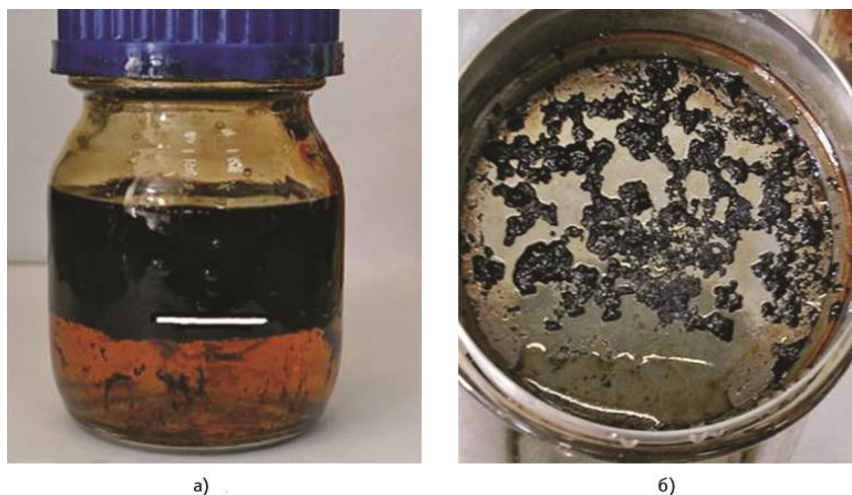
На сегодняшний день наибольшее распространение получили технологии интенсификации притока с использованием составов на основе соляной кислоты для обработки карбонатных коллекторов [4]. Существуют составы на основе так называемой «грязевой» кислоты, которая представляет смесь соляной и плавиковой кислот, для обработки терригенных коллекторов [5]. Однако применяемые методы выбора и обоснования технологических решений зачастую не учитывают в полной мере весь комплекс пластовых условий, оказывающих прямое влияние на результаты кислотной обработки. В связи с этим, а также с недостаточной изученностью некоторых объектов, процент эффективных операций остается невысоким, несмотря на мощную научную базу, наработанную усилиями множества специалистов.

Известно, что в процессе кислотной обработки может возникать целый ряд проблем, к основным из которых относят: образование малорастворимых и нерастворимых продуктов в процессе первичных и вторичных реакций кислоты с породообразующими минералами пласта коллектора [6–8]; недостаточный охват обработкой вследствие быстрой нейтрализации кислоты [5, 9]; высокое межфазное натяжение на границе «кислота-нефть» [10]; коррозия внутрискважинного оборудования; образование вторичных осадков в присутствии ионов трехвалентного железа (в данном случае следует проводить грамотный подбор железостабилизирующей присадки), а также несовместимость закачиваемого кислотного состава с насыщающими пласт флюидами [11; 12] и др.

Особое внимание в случае ВВН следует уделить изучению особенностей взаимодействия кислотных составов и пластовых флюидов каждого конкретного объекта. Во многом это обусловлено тем, что высоковязкие нефти содержат в своем составе значительную долю асфальтеносмолопарафиновых веществ (АСПВ), которые при изменении термобарических условий или же состава нефти способны образовывать осадки в виде асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО).

В работе [11] на основании результатов лабораторных экспериментов установлено, что при смешении сырой нефти с соляной кислотой образуются эмульсии различной степени устойчивости. Вязкость полученных нефтекислотных эмульсий зачастую превышает вязкость исходной нефти, что может вызвать осложнения при ее фильтрации в условиях пласта. Также в процессе экспериментов установлено, что при увеличении концентрации кислоты и

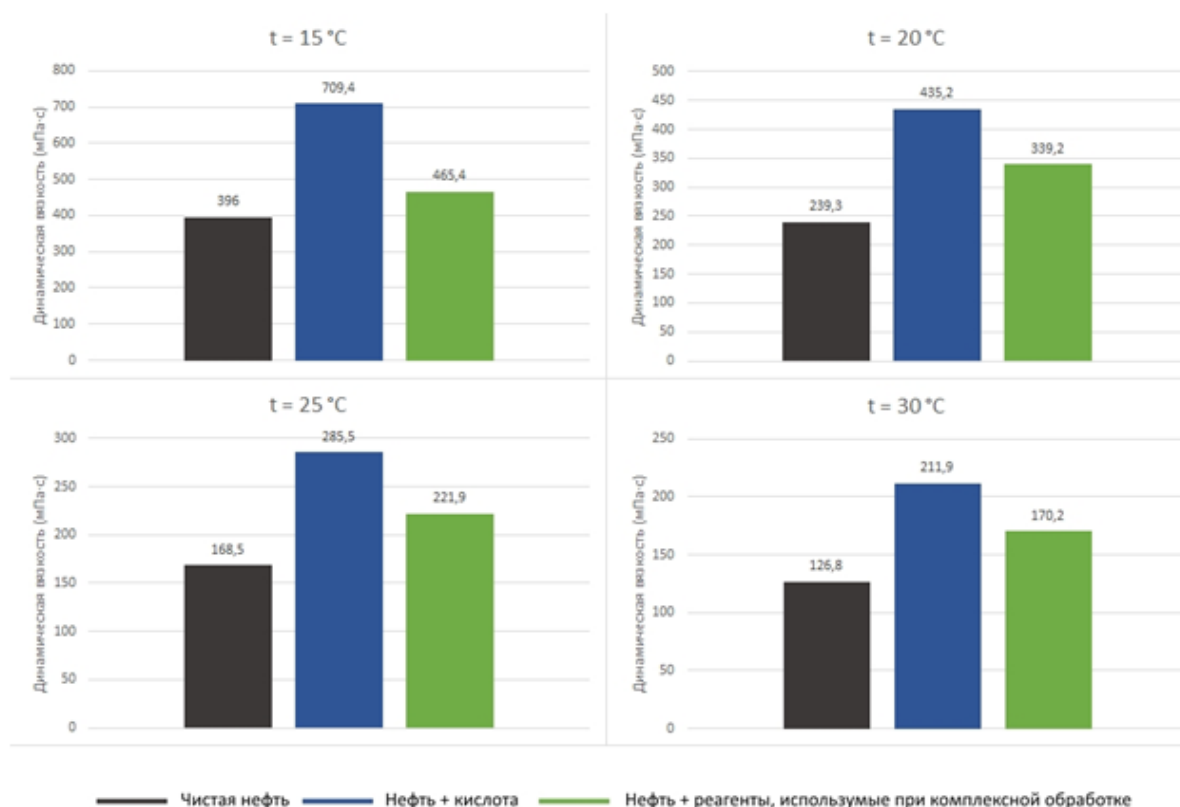
температуры одновременно с образованием эмульсии наблюдается осадкообразование (рисунок 1). Опираясь на результаты сторонних исследований, авторы работы пришли к выводу о том, что находящиеся в нефти в виде диспергированных коллоидных частиц асфальтены в процессе взаимодействия с кислотой протонируются, изменяют свой заряд и в результате образуют склонные к осаждению агрегаты. Процессы осадкообразования более интенсивно протекают в присутствии солей металлов, а в частности хлоридов. Наибольшее влияние оказывает хлорид железа (III), который, предположительно, при взаимодействии с соляной кислотой образует более растворимый в углеводородной фазе комплекс  $HFeCl_4$  тем самым ускоряя протонирование и осадкообразование. Избежать выпадение в осадок хлорида железа представляется возможным при добавлении в кислотную композицию специализированной железосодержащей присадки [7; 8].



**Рисунок 1.** Осадкообразование при взаимодействии соляной кислоты 24 % масс и нефти при 80 °С: а) Образовавшаяся неустойчивая эмульсия; б) Осадок после фильтрации эмульсии через сито 200 меш. (<https://research-journal.org/earth/dinamika-izmeneniya-reologicheskix-svojstv-vysokovyazkoj-nefti-pri-kompleksnoj-kislotnoj-obrabotke-terrigennogo-plasta/>)

Авторами работы [12] для увеличения эффективности кислотных обработок в условиях терригенных коллекторов ВВН предлагается предварительно подготавливать породу пласта, очищая ее от тонкой пленки АСПО путем промывки растворами поверхностно-активного вещества (ПАВ) и щелочи. Реализация данной технологии достаточно проста и заключается в поочередной закачке раствора ПАВ, щелочи и кислоты с последующим освоением скважины. Первая пачка – раствор ПАВ, позволяет оттеснить нефть в пласт, после чего закачиваемая пачка щелочи за счет омыления жирных кислот в нефти способствует дополнительному отмыванию нефти от породы и снижению напряжения сдвига флюида. Для предотвращения неэффективного расходования кислоты при взаимодействии с раствором щелочи необходимо также проводить закачку некоторого объема буферной оторочки. Проведенные авторами работы [12] исследования динамической вязкости нефти при смешении с кислотой наглядно демонстрируют как сильно может возрастать ее значение при образовании эмульсий (рисунок 2). Кроме того, высоковязкие нефти зачастую обладают сложными реологическими свойствами [13].

В работе [14] говорится о малой эффективности традиционных солянокислотных обработок в условиях кавернозно-трещиноватых коллекторов ВВН ввиду существенного преобладания влияния вертикальной трещиноватости. Соляная кислота, устремляясь в наиболее проницаемые каналы, расширяет их, после чего за счет значительной меньшей вязкости подстилающая вода прорывается к забою добывающих скважин.



**Рисунок 2.** Значения динамической вязкости тестируемых составов в указанном диапазоне температур при скорости сдвига равной  $50 \text{ с}^{-1}$  (<https://research-journal.org/earth/dinamika-izmeneniya-reologicheskix-svoystv-vysokovyazkoj-nefti-pri-kompleksnoj-kislotoj-obrabotke-terrigenogo-plasta/>)

В качестве решения проблемы авторами предложено закачивать в пласт предварительно нагретую вязкую нефть собственного пласта или эмульсию для экранирования основных каналов фильтрации, в результате чего раствор кислоты в большей степени распространяется по менее проницаемым горизонтальным трещинам [15]. Решение данной проблемы также рассмотрено в работе [16], где авторы предлагают к использованию самоотклоняющиеся кислотные составы, вязкость которых существенно возрастает по мере нейтрализации кислоты и образования хлорида кальция (продукт растворения карбонатной породы) за счет образования гелеобразной массы (рисунок 3). Подобные технологии позволяют образовывать равномерную сеть трещин без доминирующих фильтрационных каналов.



**Рисунок 3.** Внешний вид «зазеленного» кислотного состава ([https://www.researchgate.net/publication/317549682\\_Self-Diverting\\_Emulsified\\_Acid\\_for\\_Stimulation\\_of\\_Iranian\\_Ab-Teymur\\_Carbonate\\_Reservoir](https://www.researchgate.net/publication/317549682_Self-Diverting_Emulsified_Acid_for_Stimulation_of_Iranian_Ab-Teymur_Carbonate_Reservoir))

В случае, если коллекторские свойства призабойной зоны значительно хуже, чем в удаленных частях пласта, т. е. для скважин с положительным скин-фактором авторы работы [17] считают целесообразным использование волновых методов в комплексе с кислотной обработкой. Интерес специалистов к применению волновых методов обусловлен совокупностью положительных явлений, в числе которых: замедление процессов образования эмульсий, снижение поверхностного натяжения на границах разделов фаз, уменьшение вязкости нефти, а также разрушение структуры неньютоновской нефти. Однако не стоит забывать о негативных эффектах от использования подобных методов, например, разрушения цементного камня, закрепляющего обсадные колонны, что может повлечь за собой перетоки флюидов с изолированных пропластков. Также волновое воздействие способно разрушить цементирующее вещество в коллекторе, вследствие чего возможен вынос песка совместно с пластовым флюидом.

В ходе анализа месторождений Самарской области выявлены объекты, актуальность кислотной обработки на которых имеет место быть, а именно Киргизовское месторождение (пласты А3 и В1), Боровское месторождение (пласт Б2 Боровского поднятия) и Славкинское месторождение (пласт А4).

Таким образом, рассмотренные в работе проблемы в значительной степени влияют на эффективность кислотных обработок с высоковязкими нефтями, однако при планировании проведения работ такого рода необходимо учитывать также и остальные факторы, в числе которых скорость реакции кислоты с различными компонентами породы, образование осадков в ходе первичных, вторичных и третичных реакций и пр.

Анализ представленных в работе материалов позволяет сделать вывод о необходимости применения специальных добавок к кислотным составам при обработках объектов с высоковязкой нефтью. Грамотно подобранные ПАВ, железостабилизирующая присадка, а также реагенты-растворители способны в значительной мере увеличить эффективность кислотных составов в осложненных условиях нефтегазодобычи.

Следующим этапом в рамках данной работы является подбор основы кислотного состава, выполнение исследований его эффективности при воздействии на образцы породы-коллектора пласта А3, Киргизовского месторождения, а также выполнение исследований для выбора специальных добавок с целью оптимизации кислотного состава.

## 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. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Высоковязкие нефти: анализ пространственных и временных изменений физико-химических свойств // Нефтегазовое дело. 2005. Вып. 1.
3. Черкасова Е.И., Сафиуллин И.И., Особенности добычи высоковязкой нефти / Вестник технологического университета. 2015, т.18, в.6, с. 105–109.
4. Гуторов, А.Ю. Опыт применения различных видов солянокислотных обработок для увеличения продуктивности нефтедобывающих скважин на месторождениях Татарстана [Текст] / А.Ю. Гуторов // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10. – № 3. – С. 54–58.
5. Цыганков В.А. Разработка кислотных составов для низкопроницаемых терригенных коллекторов с повышенным содержанием карбонатов: диссертация

- на соискание ученой степени кандидата технических наук: 02.00.11 / Цыганков Вадим Андреевич. – Москва, 2011. – 162 с.
6. Магадова Л.А. и др. Осадкообразование при взаимодействии кислотных составов с минералами терригенного коллектора // Нефтепромысловое дело. 2015. № 9. С. 31–36.
  7. Фарманзаде А.Р., Литвин В.Т., Роцин П.В. Подбор основы кислотного состава и специальных добавок для обработки призабойной зоны пласта баженовской свиты. Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3–4 (34). С. 68–72.
  8. Литвин В.Т. Обоснование технологии интенсификации притока нефти для коллекторов баженовской свиты с применением кислотной обработки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". Санкт-Петербург, 2016.
  9. Литвин В.Т., Стрижнев К.В., Шевчук Т.Н., Роцин П.В. Кислотная обработка призабойной зоны пласта баженовской свиты после проведения гидроразрыва пласта. Нефтяное хозяйство. 2018. № 4. С. 70–73.
  10. Силин М.А., Магадова Л.А., Давлетшина Л.Ф., Пономарева В.В., Мухин М.М., Белых А.А., Учаев А.Я. ПАВ различного типа в составе технологических жидкостей, применяемых в процессах нефте- и газодобычи // Нефтепромысловое дело. 2010. № 10. С. 22–24.
  11. Давлетшина Л.Ф., Толстых Л.И., Михайлова П.С. О необходимости изучения особенностей поведения углеводородов для повышения эффективности кислотных обработок скважин // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 4. С. 90–96.
  12. Орлов М.С., Петраков Д.Г. Динамика изменения реологических свойств высоковязкой нефти при комплексной кислотной обработке терригенного пласта // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 4. – С. 68–72.
  13. Роцин П.В., Петухов А.В., Васкес Карденас Л.К., Назаров А.Д., Хромых Л.Н. Исследование реологических свойств высоковязких высокопарафинистых нефтей месторождений Самарской Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013 Т. 8 № 1 С. 12.
  14. Напалков В.Н., Нургалиева Н.Г., Плотникова И.Н. Особенности применения метода соляно-кислотной обработки в кавернозно-трещиноватых карбонатных коллекторах высоковязких нефтей. – Георесурсы №3 (31). – 2009. – С. 44–46.
  15. Jafarpour H., Petrakov D.G., Litvin V., Roshchin P., Kuznetsova A., Moghadasi J. Self-diverting emulsified acid for stimulation of Iranian Ab-Teymur carbonate reservoir. 79th EAGE Conference and Exhibition 2017 – Workshops 79. 2017.
  16. Кузьмин Д.А., Лысенков А.В. Совершенствование кислотного воздействия на карбонатные коллекторы месторождений республики Башкортостан // Молодежный научный вестник. – 2018. – № 4.
  17. Гуторов А.Ю. Опыт применения различных видов солянокислотных обработок для увеличения продуктивности нефтедобывающих скважин на месторождениях Татарстана [Текст] / А.Ю. Гуторов // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10. – № 3. – С. 54–58.

**Zinovev Aleksei Mikhailovich**

Samara state technical university, Samara, Russia  
E-mail: lekso1988@yandex.ru

**Litvin Aleksandr Tarasovich**

Samara state technical university, Samara, Russia  
E-mail: oil\_litvin@mail.ru

**Nikitin Aleksandr Valerevich**

Samara state technical university, Samara, Russia  
E-mail: Nikitin.oil@yandex.ru

## **Features of acid treatments use to intensify the high-viscosity oil production**

**Abstract.** The annual increase in energy demand, combined with a change in the structure of oil reserves, gives operators an additional incentive to create new and improve existing technologies for the development and intensification of hydrocarbon flows in reservoirs with hard-to-recover reserves, including highly viscous oil.

The paper presents an analysis of the problems that arise during acidic treatments in general and features when exposed to formations containing highly viscous oil. Methods of preventing complications during the work on the intensification of high-viscosity oil using acidic compounds are considered.

The article also provides examples of technologies that are aimed at improving the efficiency of acid treatments of terrigenous reservoirs with high viscosity oil. Many experts suggest using a sequential injection of solutions of surfactants, alkalis and acids. Others offer technologies to combat the flow of acid into highly permeable channels for filtering formation fluids in productive strata of cavernous-fractured reservoirs and, accordingly, with breakthroughs of underlying waters. The paper also discusses the experience of using wave methods of stimulating the formation together with the injection of acid compositions. The positive and negative sides of this method are highlighted.

The results of the analysis of deposits in the Samara region are presented and the objects relevant for the selection of acid compositions are identified.

**Keywords:** high-viscosity oil; acid treatment; complications; stimulation of inflow; hard-to-recover reserves; field development; complex impact