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

2023, Том 15, № 6 / 2023, Vol. 15, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2023.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/19NZVN623.pdf

2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Никитин, А. В. Мировой опыт совместного применения кислотных обработок и гидравлического разрыва пласта / А. В. Никитин, А. М. Зиновьев, Н. Б. Сопронюк, М. А. Давыдов, В. В. Лукичев // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/19NZVN623.pdf

For citation:
Nikitin A.V., Zinovev A.M., Soproniuk N.B., Davydov M.A., Lukichev V.V. Historical aspects of the development of technologies for intensifying oil production using the example of acid treatments and hydraulic fracturing. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(6): 19NZVN623. Available at: https://esj.today/PDF/19NZVN623.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 622

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

Зиновьев Алексей Михайлович
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Сопронюк Нина Борисовна
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: sopronuk.nina@outlook.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=731018

Давыдов Михаил Анатольевич
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
E-mail: mishad.davidov@yandex.ru

Лукичев Валерий Викторович
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
E-mail: valera.lukichev.85@bk.ru

Мировой опыт совместного применения кислотных обработок и гидравлического разрыва пласта

Аннотация. В работе кратко рассмотрены группы методов воздействия на призабойную зону пласта. Отмечено, что существуют комплексные методы, объединяющие природу воздействия или технологии из разных групп. Приведены работы и патенты отечественных и иностранных специалистов, на основе которых отмечается высокий потенциал комплексирования технологии кислотной обработки призабойной зоны пласта с технологиями других групп.

В статье рассмотрены ключевые тенденции в развитии технологии кислотных обработок от первого упоминания о практическом применении технологии кислотной обработки в 1884 году, заканчивая промысловыми испытаниями комплексной технологии гидромониторного воздействия на призабойную зону пласта углеводородным растворителем и кислотным составом на месторождениях высоковязкой нефти в 2020 году.

Отмечается, что с 2010 года в промышленную разработку активно вводятся запасы сланцевой нефти и газа, в свою очередь наиболее эффективной технологией разработки подобных нетрадиционных запасов становится гидравлический разрыв пласта и его модификации с применением кислотных составов.

В работе приведены примеры и рассмотрены такие подходы к объединению технологий гидравлического разрыва пласта и кислотной обработки, как закачка кислоты в пласт перед проведением гидроразрыва, кислотный гидроразрыв пласта, закачка кислоты после гидроразрыва.

В заключении работы приведен главный тренд последних лет в развитии технологий интенсификации добычи нефти — комплексирование. Отмечаются высокие темпы развития подходов, основанных на комбинациях кислотных обработок с другими технологиями интенсификации добычи нефти, в том числе с гидравлическим разрывом пласта, которые в дальнейшем позволят значительно повысить эффективность разработки месторождений нефти с особенностями и осложнениями относительно призабойной зоны пласта.

Ключевые слова: кислотная обработки; интенсификация добычи нефти; гидравлический разрыв пласта; комплексные технологии; низкопроницаемый коллектор; сланцевая нефть

Призабойная зона пласта (ПЗП) — это участок вблизи ствола скважины, где происходят разнообразные процессы при добыче или закачке жидкости и газа при разработке залежи. Весь объем добываемых флюидов проходит через ПЗП, вызывая значительные потери энергии из-за радиального притока жидкости, приводящего к максимальным градиентам давления и скоростей, а также высоким фильтрационным сопротивлениям. Состояние призабойной зоны существенно влияет на добычу нефти, дебит скважин и производительность нагнетательных скважин. Сохранение естественной проницаемости в процессе бурения, первоначального вскрытия пласта и последующих работ имеет решающее значение.

К сожалению, в процессе заканчивания и эксплуатации скважин проницаемость пород часто снижается из-за отложения в призабойной зоне таких веществ, как глинистые частицы, смолы, асфальтены, парафины и соли. Это приводит к увеличению фильтрационного сопротивления и снижению дебита скважины. В таких случаях необходимо повысить проницаемость межпластовой зоны и улучшить связь между пластом и скважиной [1].

Воздействие на призабойную полость можно разделить на химические, механические, термические и комплексные методы.

Химические методы позволяют растворить такие вещества, как известняк, в соляной кислоте, чтобы устранить нарушение проницаемости.

Механические методы, например гидравлический разрыв пласта, позволяют справиться с низкопроницаемыми твердыми породами.

Термические методы включают в себя различные способы нагрева углеводородных отложений или вязких нефтей во время фильтрации [1–3].[1]

[1] Газета «Пермская нефть» [Электронный ресурс] — URL: https://permneft-portal.ru (Дата обращения: 18.02.2022).

19NZVN623
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Комплексные технологии основаны на совместном применении различных методов воздействия на призабойную зону пласта, сочетание и определенная последовательность реализации которых приводит к возникновению синергетического эффекта, превышающего суммарный эффект от их раздельного применения. Например, к комплексной технологии возможно отнести обработку призабойной зоны продуктивного пласта растворителем и паром, комплексную гидромониторную обработку и т. д. [2–3].[1]

Кислотные обработки (КО) применяются в качестве одного из основных видов геолого-технических мероприятий, проводимых на эксплуатационном фонде скважин. Обработка ПЗП кислотными составами (КС), вследствие низких финансовых затрат, а также простоты выполнения операции (рис. 1) является одним из самых популярных методов интенсификации притока. КО при правильном подборе технологических жидкостей и самой технологии их закачки по эффективности в ряде случаев может стоять в одном ряду с гидравлическим разрывом пласта. Добывающие компании используют кислотную обработку для увеличения дебита добывающих скважин уже почти 140 лет. Кислотная обработка предшествовала всем другим методам воздействия на пласты, включая гидроразрыв пласта, который был разработан в конце 1940-х годов.

Вот как описывает специалист-геолог Тамара Ивановна Васильева работу в 1934 году на нефтяном месторождении Верхнечусовские городки (Пермский край) по внедрению кислотных обработок призабойной зоны пласта скважин:

«...Работа на этом промысле для меня стала очень богатой школой... Впервые в Союзе мы стали здесь проводить опытные соляно-кислотные обработки скважин. Расчетами, опытным и лабораторным путем устанавливали оптимальное количество кислотного раствора, его концентрацию, температуру. Разрабатывали технологию обработок, знакомились с новинками зарубежного опыта, заимствуя то, что подходило к нашим условиям. Постепенно, совершенствуя технику и технологию кислотных обработок, мы добились высоких приростов дебита скважин — от 1 до 5–10 тонн» [4].

Исходя из работ как специалистов РФ, так и иностранных возможно сделать выводы о высоких перспективах комплексирования технологий при проведении кислотных обработок [5–6].[2] Под комплексированием в данном случае понимается объединение технологий с различной природой воздействия на пласт, например, кислотный гидроразрыв представляет собой сочетание ГРП и соляно-кислотной обработки, термокислотная обработка сочетает как тепловые, так и химические воздействия на ПЗП и т. д. На сегодняшний день тенденция комплексирования способов воздействия на призабойную зону пласта для интенсификации добычи нефти развивается повсеместно. Так, работы [7][3] представляют собой патенты на различные комплексные модификации процесса кислотной обработки призабойной зоны пласта.

---

[2] Патент 2583104 Российская Федерация МПК E21B 43/27. Способ обработки призабойной зоны пласта / Сергеев В.В. (РФ). — № 2014151177/03; Заявл. 17.12.2014; Опубл. 10.05.2016.

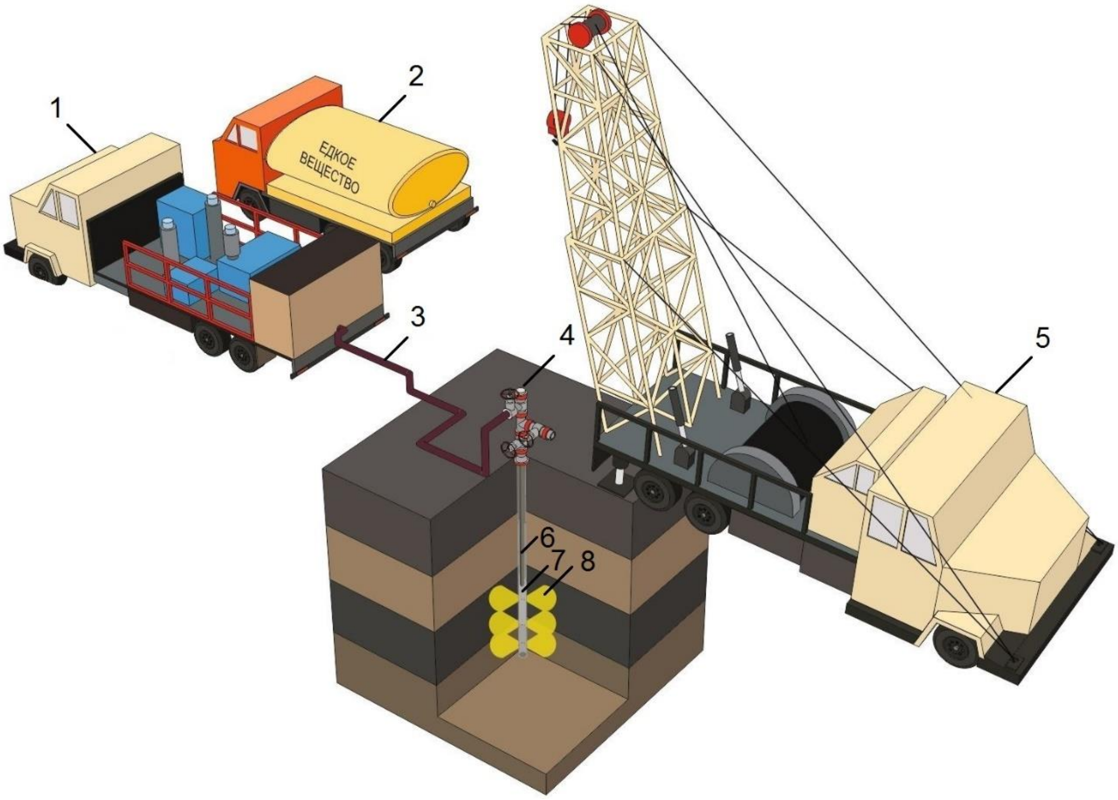
[3] Патент 2638668 Российская Федерация МПК E21B 43/24. Способ термопенокислотной обработки прискважинной зоны карбонатного коллектора / Исмагилов Ф.З. (РФ). — № 2016146031; Заявл. 23.11.2016; Опубл. 15.12.2017.

Патент 2715407 Российская Федерация МПК C09K 8/74. Состав для интенсификации разработки низкопродуктивных залежей высоковязкой нефти с карбонатным коллектором / Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Стасьева Л.А. (РФ). — № 2019113239; Заявл. 29.05.2019; Опубл. 27.02.2020.

Патент 2721200 Российская Федерация МПК E21B 43/22. Способ термохимической обработки нефтяного пласта / Хисаметдинов М.Р., Береговой А.Н., Ризванов Р.З., Ганеева З.М., Федоров А.В., Нуриев Д.В. (РФ). — № 2019140188; Заявл. 09.12.2019; Опубл. 18.05.2020.

Патент 94041313 Российская Федерация МПК E21B 43/27. Способ обработки призабойной зоны скважины / Бруслов А.Ю., Шахвердиев А.Х. (РФ). — № 94041313/03; Заявл. 15.11.1994; Опубл. 20.09.1996.

19NZVN623
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com



1 — насосный агрегат; 2 — цистерна с кислотой; 3 — линия подачи реагента; 4 — фонтанная арматура скважины; 5 — подъемная установка для освоения и ремонта скважин; 6 — насосно-компрессорные трубы; 7 — обсадная колонна; 8 — кислотный состав

Рисунок 1. *Процесс выполнения кислотной обработки призабойной зоны пласта (составлено авторами)*

Основные тенденции в развитии техники и технологии кислотных обработок представляется возможным отследить по работам, отмеченным в таблице 1.

С начала 2010 г. как на территории Северной Америки, так и по всему миру, в промышленную разработку активно вводятся залежи сланцевой нефти (лёгкая нефть низкопроницаемых коллекторов). Низкопроницаемые породы могут быть представлены глинистыми сланцами, плотными песчаниками, известняками. Для добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов экономически оправданно применять технологию многостадийного гидроразрыва пласта в сочетании с бурением скважин с горизонтальным окончанием.

Способ добычи нефти из пород с низкой проницаемостью с помощью многостадийного ГРП на скважинах с горизонтальным окончанием стал применяться для залежей сланцевой нефти по аналогии после начала разработки данными методами месторождений сланцевого газа. Технология многостадийного ГРП состоит из бурения скважин с горизонтальным окончанием и выполнении в их горизонтальной части множественных гидравлических разрывов породы, содержащей сланцевую нефть. Процесс ГРП позволяет увеличивать проницаемость призабойной зоны продуктивного пласта, образовывать высокопроницаемые каналы фильтрации в пласте и соединять данные области со скважиной. Для создания трещины в пласте необходимо произвести закачку смеси воды, химических добавок с расклинивающим наполнителем — проппантом [20].

19NZVN623
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Таблица 1

Ключевые тенденции в развитии технологии кислотных обработок

Год	Вклад в развитие технологии	Источник
1884	Первые упоминания о практическом применении технологии кислотной обработки	[8–10]
1896	Регистрация одного из первых патентов на технологию кислотной обработки призабойной зоны пласта с помощью соляной кислоты	[11]
1928	Разработка эффективных ингибиторов кислотной коррозии и последующее широкое распространение кислотных обработок в США	[8–11]
1934	Первые применения соляно-кислотных обработок на территории Советского Союза	[4]
1944	Приведены рекомендации к проведению кислотных обработок, а также пути устранения осложнений	[12]
1936–1946	Первый патент на отклоняющие агенты от компании Haliburton Oil Well Cementing Co Первое применение технологии отклоняющего агента (месторождение Grayburg-San Andres)	[13]
1955	Приведен обширный опыт выполнения обработок загеленными кислотными составами, а также кислотно-нефтяными эмульсиями	[14]
1959	С научной и практической точки зрения обосновано предложение по использованию разогретой соляной кислоты для обработки призабойной зоны пласта	[15]
1975	Проведен анализ данных 174 обработок терригенных коллекторов, залегающих в районе побережья Мексиканского залива	[16]
1981	Применение гуаровой камеди для создания загеленной кислоты, а также различных растворов полимеров HPG, HEC, CMHEC, акриламида, AMPS, диметиламиноэтилакрилата, кватернизованного метилхлорида (DMAEA-Q) и т. д.	[17]
1996	В роли аналога соляной кислоты рассмотрены уксусная кислота и этилендиаминтетрауксусная кислота	[18]
2016	Рассматривается потенциал серной и азотной кислот, а также рекомендуется совместное использование соляной кислоты с органическими кислотами, такими как муравьиная и янтарная	[19]
2020	Отмечается возможность достижения совместимости высоковязкой нефти и кислотной композиции при предварительном добавлении углеводородного растворителя в нефть	[2; 3]
2020	Проведены промысловые испытания комплексной технологии гидромониторного воздействия кислотным составом на призабойную зону пласта на месторождениях высоковязкой нефти с предварительной закачкой углеводородного растворителя в пласт	[2; 3]

Низкопроницаемые коллекторы в сланцевых и смежных с ними горных породах могут иметь серьезные различия в геолого-физических характеристиках даже на небольшом расстоянии, иметь зональную и слоистую неоднородности. В связи с этим по разным скважинам может иметь место существенное различие по дебитам нефти и накопленной добыче. При этом строительство скважины с горизонтальным окончанием и проведение гидроразрыва пласта оказывают значительную финансовую нагрузку на проект [21].

Сложившаяся за период с 2010 года по сегодняшний день ситуация требовала от инженеров-нефтяников модификации стандартных подходов к разработке месторождений. В результате чего широкое распространение получили различные комбинации технологий ГРП и кислотной обработки по причине сравнительно низкой стоимости проведения последней.

Так, например, рациональным подходом считается проведение кислотной обработки выбранного интервала перед выполнением ГРП. Такой метод обусловлен как необходимостью предварительного тестирования интервала на приток нефти в скважину, так и улучшением фильтрационно-емкостных свойств породы перед проведением ГРП [21]. На традиционных нефтяных месторождениях данный метод начал применятся ещё в 70-х года XX века [22; 23]. Предварительная обработка растворами соляной кислоты (HCl) применяется для снижения прочности пород на сжатие вблизи ствола скважины, устранения повреждений, вызванных бурением и заканчиванием, и улучшения сообщаемости микротрещин за счет удаления кальцита [24].

В работе [25] указан опыт выполнения ГРП с предварительной обработкой пласта-коллектора кислотным составом. Отмечается успешное выполнение ГРП с предварительной кислотной обработкой на месторождении с низкопроницаемым коллектором бассейна Ordos.

Описанная практика актуальна и для традиционных нефтяных месторождений. В Республике Татарстан проводятся работы по применению модифицированного ГРП на терригенных отложениях нижнего карбона Ромашкинского месторождения совместно с предварительной большеобъемной кислотной обработкой определенной рецептуры. Применяемые режимы, отличные от стандартного ГРП, позволили создать и закрепить максимальную длину трещины без преждевременного экранирования и, одновременно, обеспечить оптимальную проводимость искусственной трещины [26].

Также на месторождениях с низкопроницаемыми коллекторами широко применяется технология кислотного ГРП, при котором в качестве жидкости разрыва используются кислотные составы. С помощью закачки специального кислотного состава и высокого давления создается трещина, стенки трещины растворяются и протравливаются в результате образуются проводимые каналы в породе. От классической кислотной обработки отличается гораздо большим объемом использованной кислоты и давлением закачки (выше давления разрыва горной породы). Технология кислотного гидроразрыва пласта является одной из основных технологий кислотной обработки для интенсификации добычи нефти и газа из низкопроницаемых коллекторов [27–32]. Наиболее распространенным химическим реагентом (кислотой), используемой для проведения кислотного ГРП, является соляная кислота (HCl), которая применяется и при классической кислотной обработке. Соляная кислота может быть смешана с плавиковой кислотой (HF), которая растворяет силикатные фазы породы-коллектора [33].

McCurdy в работе [34] показал, что в среднем концентрация кислоты в жидкости для гидравлического разрыва пласта, используемой для низкопроницаемых коллекторов, составляет примерно 0,012–0,31 % от общего количества закачиваемой жидкости. На основе опубликованных в 2013 году лабораторных исследований [35] рекомендуется использование HCl в концентрации 0,8 % масс. при проведении ГРП.

Результаты исследований в работе [36] 2014 г. показали, что набухание глин может привести к сужению высокопроницаемых каналов в пласте и последующему снижению добычи нефти. На сланцевой формации Barnett эффект снижения добычи нефти от набухания глин представляется возможным минимизировать и добыча может быть увеличена на 56 % при добавлении в жидкость для ГРП 2 мас. % раствора $NaOH$ и на 88 % при добавлении 3 мас. % HCl в базовый раствор 2 мас. % KCl.

Исходя из данных отчетов по направлению разработки низкопроницаемых коллекторов США на портале Wood Mackenzie (https://www.woodmac.com), около 40 % накопленной добычи нефти по скважине достигается благодаря проведению повторного ГРП. В свою очередь проведение кислотной обработки вместо повторного гидравлического разрыва пласта возможно позволит значительно снизить затраты на интенсификацию добычи нефти на скважинах месторождений с низкопроницаемыми коллекторами.

Так, например, в работе [1] в 2016 году описан разработанный кислотный состав пролонгированного действия с учетом полиминерального состава пород, термобарических условий залегания баженовской свиты и современных требований. Проведение кислотной обработки разработанным составом вместо повторного ГРП позволило достичь вывода скважины на режим 6 т/сут после длительного простоя при отсутствии дебита по нефти до

19NZVN623
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

проведения мероприятия. С момента обработки и на 17.02.2016 дополнительная добыча нефти составила более 750 тонн нефти.

А также в работе иностранных специалистов [37] по результатам проведенных экспериментов отмечается увеличение пористости и благоприятная картина воздействия на карбонатную породу-коллектор, указывающая на то, что кислотная обработка трещин может оказывать положительный эффект на поддержание уровня добычи нефти после выполнения ГРП.

В работе [30], подготовленной в 2016 году, авторы утверждают, что промывка скважины кислотным составом, кислотная обработка матрицы, технология кислотного гидроразрыва пласта и многоступенчатая попеременная закачка пропанта с кислотным гидроразрывом пласта являются основными технологиями кислотной обработки для интенсификации добычи нефти низкопроницаемых коллекторов. Изучение механизма стимуляции в основном концентрируется на трех аспектах: влияние кислоты на матрицу сланца, влияние кислоты на механические свойства сланца, влияние кислоты на проводимость трещины сланца.

Подход комплексирования в описанных случаях позволяет как устранить осложнения, возникающие при разработке месторождений с низкопроницаемыми коллекторами с помощью дополнительных видов воздействия (тепловое воздействие, вибровоздействие, закачка реагентов-растворителей и т. д.), так и увеличить эффективность основного действия кислотных составов — растворения породы-коллектора с последующим снятием скин-фактора, увеличением проницаемости ПЗП.

По результатам исследования литературных источников удается сделать следующие выводы:

1. На данный момент главный тренд в развитии технологий интенсификации притока направлен на совместное, комплексное использование различных методов воздействия на продуктивный пласт.
2. Активно развиваются подходы, основанные на комбинациях кислотных обработок с другими технологиями интенсификации добычи, в том числе с гидравлическим разрывом пласта.
3. Ожидается, что в дальнейшем подход комплексирования технологий позволит значительно повысить эффективность разработки месторождений нефти с низкопроницаемыми коллекторами, а также увеличить продуктивность работы скважин месторождений с указанными особенностями и осложнениями относительно ПЗП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвин В.Т., Стрижнев К.В., Шевчук Т.Н., Рощин П.В. Кислотная обработка призабойной зоны пласта баженовской свиты после проведения гидроразрыва пласта. Нефтяное хозяйство. 2018. № 4. С. 70–73.
2. Рощин П.В., Никитин А.В., Смирнов Е.А., Кожин В.Н., Пчела К.В., Киреев И.И., Демин С.В., Манасян А.Э., Амиров А.А., Воробьев С.В. Обоснование применения комплексной технологии гидромониторного воздействия на призабойную зону пласта на месторождениях высоковязкой нефти // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 5. С. 36–41. DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10100.

3. Подбор компонентов комплексной кислотной обработки карбонатных коллекторов для интенсификации добычи высоковязкой нефти / А.В. Никитин, П.В. Рощин, В.Н. Кожин [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2020. — № 5. — С. 35–39. — DOI 10.30713/2413-5011-2020-5(341)-35-39. — EDN EBQBIV.

4. Киреев, И.И. Интенсификация добычи высоковязкой нефти / И.И. Киреев, П.В. Рощин, С.В. Демин // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2020. — № 4(100). — С. 88–91. — EDN YOTKWD.

5. Глущенко В.Н., Силин М.А. Кислотная обработка скважин // Нефтепромысловая химия. — 2010. — Т. 4. — С. 477–479.

6. Шумахер М.Ю., Коновалов В.В., Мельников А.П. Исследование дисперсных и реологических свойств углеводородсодержащих кислотных эмульсий и их эффективности в удалении асфальтосмолопарафиновых отложений. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2020; (2): 128–139. https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-2-128-139.

7. Farias, R., Gaspar Miranda Prata F., Souza L.A., Jardim A.T., de Araujo C.J.C., Pereira A.Z.I., & Neumann L.F. (2010, January 1). A New Acid Treatment Procedure To Improve Injectivity in Brazil Offshore Horizontal Wells. Society of Petroleum Engineers. URL: https://search.spe.org/i2kweb/SPE/doc/onepetro:25F50DB5/. doi: 10.2118/126324-MS.

8. Эффективность применения поинтервальных обработок призабойной зоны пласта в условиях неоднородности значений проницаемости коллекторов (на примере одного из месторождений Западной Сибири) / Э.М. Альмухаметова, А.Ю. Гуторов, Р.А. Гилязетдинов, Ф.А. Шарипов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2023. — № 1(141). — С. 50–60. — DOI 10.17122/ntj-oil-2023-1-50-60. — EDN IWRLKE.

9. Plummer F.B., Newcome R.B. Laboratory Investigations on Acid Treatment of Oil Sands // Transactions of the AIME. — 1936. — Т. 118. — № 01. — С. 100–115.

10. Putnam S.W. Development of acid treatment of oil wells involves careful study of problems of each // Oil & Gas Journal. — 1933. — Т. 31. — С. 6–13.

11. Карпунин, Н.А. Современный опыт обработки призабойной зоны терригенного пласта кислотными композициями / Н.А. Карпунин, А.А. Рязанов, Л.Н. Хромых, Н.А. Щукин // Вестник Евразийской науки. — 2018. — Т. 10. — № 4. — 11 с.

12. Li N. et al. Application status and research progress of shale reservoirs acid treatment technology // Natural Gas Industry B. — 2016. — Т. 3. — № 2. — С. 165–172.

13. Harrison N.W. Diverting agents — history and application // Journal of Petroleum Technology. — 1972. — Т. 24. — № 05. — С. 593–598.

14. Lehnhard P.J., Cecil C. J. Applications of the Electric Pilot to Well Completions, Acidizing, and Production Problems in the Permian Basin // Transactions of the AIME. — 1945. — Т. 160. — № 01. — С. 15–24.

15. Rollins J.T., Taylor L.C. Using heat in combination with solvents to clean up formation flow channels // Journal of Petroleum Technology. — 1959. — Т. 11. — № 10. — С. 33–36.

16. Gidley J.L., Ryan J.C., Mayhill T.D. Study of The Field Application of Sandstone Acidizing (includes associated papers 6507 and 6555) // Journal of Petroleum Technology. — 1976. — Т. 28. — № 11. — С. 1289–1294.

17. Crowe C.W., Martin R.C., Michaelis A.M. Evaluation of acid-gelling agents for use in well stimulation // Society of Petroleum Engineers Journal. — 1981. — Т. 21. — № 04. — С. 415–424.

18. Fredd, C.N. and H. Scott Fogler. "Alternative Stimulation Fluids and Their Impact on Carbonate Acidizing." SPE J. 3 (1998): 34–41. doi: https://doi.org/10.2118/31074-PA.

19. Сергеев В.В. Зейгман Ю.В. Опытно промышленное внедрение комплексной технологии интенсификации добычи нефти из карбонатных коллекторов // ВНИИО Нефтепромысловое дело — 2015 № 6 — С. 39–45.

20. Putnam S.W. Development of acid treatment of oil wells involves careful study of problems of each // Oil & Gas Journal. — 1933. — Т. 31. — С. 6–13.

21. U.S. Energy Information Administration. (2013) Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States. Washington, D.C.: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, p. 730 [Электронный ресурс]. URL: https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/fullreport.pdf. (Дата обращения: 18.02.2022).

22. Morsy Samiha, Sheng J.J., Gomaa Ahmed and M. Y. Soliman. "Potential of Improved Waterflooding in Acid-Hydraulically-Fractured Shale Formations." Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 2013. doi: https://doi.org/10.2118/166403-MS.

23. Free D.L., Thompson J.E. Fracturing With a High-Viscosity, Cross-Linked GelContinuous Fracturing Technique // Journal of Petroleum Technology. — 1978. — Т. 30. — № 01. — С. 119–122.

24. Holgate K.E., Lancaster D.E., Lee W.J. Analysis of prestimulation test data in Devonian shale reservoirs // SPE formation evaluation. — 1988. — Т. 3. — № 02. — С. 364–370.

25. Fontaine, J., Johnson, N., and D. Schoen. "Design, Execution, and Evaluation of a "Typical" Marcellus Shale Slickwater Stimulation: A Case History." Paper presented at the SPE Eastern Regional / AAPG Eastern Section Joint Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, October 2008. doi: https://doi.org/10.2118/117772-MS.

26. Li N. et al. Feasibility study on application of volume acid fracturing technology to tight gas carbonate reservoir development // Petroleum. — 2015. — Т. 1. — № 3. — С. 206–216.

27. Хусаинов, Р.Ф. Разработка залежей низкопроницаемых доманиковых коллекторов с применением массированного гидроразрыва пластов на примере НГДУ «Альметьевнефть» / Р.Ф. Хусаинов, Н.А. Назимов, Н.Ф. Гумаров, Б.Г. Ганиев, М.В. Швыденко, Р.Ш. Абсалямов // Георесурсы. — 2015. — Т. 2. — № 4. — С. 14–17.

28. Bale A., Smith M.B., and Henry Klein H.H. 2010. Stimulation of Carbonates Combining Acid Fracturing With Proppant (CAPF): A Revolutionary Approach for Enhancement of Final Fracture Conductivity and Effective Fracture Half-Length. SPE-134307-MS presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy, 19–22 September 2010. http://dx.doi.org/10.2118/134307-MS.

29. Guo T. et al. Evaluation of acid fracturing treatments in shale formation // Energy & Fuels. — 2017. — Т. 31. — № 10. — С. 10479–10489.

30. Li N. et al. Application status and research progress of shale reservoirs acid treatment technology // Natural Gas Industry B. — 2016. — Т. 3. — № 2. — С. 165–172.

31. Luo Z. et al. A novel stimulation strategy for developing tight fractured gas reservoir // Petroleum. — 2018. — Т. 4. — № 2. — С. 215–222.

32. Morsy Samiha, Sheng J.J., Gomaa Ahmed and M.Y. Soliman. "Potential of Improved Waterflooding in Acid-Hydraulically-Fractured Shale Formations." Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 2013. doi: https://doi.org/10.2118/166403-MS.

33. Patton B.J., Pitts F., Goeres T., Hertfelder G. 2003. Matrix Acidizing Case Studies for the Point Arguello Field. SPE-83490-MS presented at SPE Western Regional / AAPG Pacific Section Joint Meeting, Long Beach, California, 19–24 May 2003. http://dx.doi.org/10.2118/83490-MS.

34. McCurdy R. (2011) High rate hydraulic fracturing additives in non-Marcellus unconventional shales. In: Proceedings of the technical workshops for the hydraulic fracturing study: chemical and analytical methods. EPA 600/R-11/066. http://www2.epa.gov/hfstudy/high-rate-hydraulic-fracturing-additives-non-marcellus-unconventional-shales. Accessed 8 July 2013.

35. Morsy Samiha, Sheng J.J., Hetherington, C.J. Soliman, Mohamed Y. and Roland O. Ezewu. "Impact of Matrix Acidizing on Shale Formations." Paper presented at the SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Lagos, Nigeria, August 2013. doi: https://doi.org/10.2118/167568-MS.

36. Morsy Samiha and J.J. Sheng. "Imbibition Characteristics of the Barnett Shale Formation." Paper presented at the SPE Unconventional Resources Conference, The Woodlands, Texas, USA, April 2014. doi: https://doi.org/10.2118/168984-MS.

37. Литвин В.Т., Фарманзаде Анар Рабил оглы, Орлов М.С. Подбор кислотного состава для низкопроницаемых высокоглинистых пластов баженовской свиты (часть 1) // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, № 5 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/214TVN515.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/214TVN515.

38. Tripathi, Divyendu, and Maysam Pournik. "Effect of Acid on Productivity of Fractured Shale Reservoirs." Paper presented at the SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, Denver, Colorado, USA, August 2014. doi: https://doi.org/10.15530/URTEC-2014-1922960.

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

Zinovev Aleksei Mikhailovich
Samara Flagship Technical University, Samara, Russia
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Soproniuk Nina Borisovna
Samara Flagship Technical University, Samara, Russia
E-mail: sopronuk.nina@outlook.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=731018

Davydov Mikhail Anatolevich
Samara Flagship Technical University, Samara, Russia
E-mail: mishad.davidov@yandex.ru

Lukichev Valerii Viktorovich
Samara Flagship Technical University, Samara, Russia
E-mail: valera.lukichev.85@bk.ru

Historical aspects of the development of technologies for intensifying oil production using the example of acid treatments and hydraulic fracturing

Abstract. The paper summarizes the groups of methods of influence on the bottomhole zone of the reservoir. It is noted that there are complex methods that combine the nature of the impact or technologies from different groups. Works and patents of domestic and foreign specialists are given, on the basis of which the high potential of complexing the technology of acid treatment of bottomhole formation zone with technologies of other groups is noted.

The article considers the key trends in the development of acid treatment technology from the first mention of the practical application of acid treatment technology in 1884 to field tests of complex technology of hydro-monitoring impact on the bottomhole formation zone with hydrocarbon solvent and acid composition at heavy oil fields in 2020.

It is noted that since 2010 shale oil and gas reserves have been actively introduced into commercial development, and hydraulic fracturing and its modification with the use of acid compositions becomes the most effective technology for the development of such unconventional reserves.

The paper gives examples and discusses such approaches to combining hydraulic fracturing and acid treatment technologies as injection of acid into the formation before fracturing, acid fracturing, acid injection after fracturing.

In conclusion, the main trend of recent years in the development of oil production stimulation technologies — complexing. There are high rates of development of approaches based on combinations of acid treatments with other technologies of oil production stimulation, including hydraulic fracturing, which in the future will significantly improve the efficiency of development of oil fields with peculiarities and complications related to the bottom-hole zone.

Keywords: technological history; acid treatment; oil production stimulation; hydraulic fracturing; complex technologies; tight reservoir; tight oil

19NZVN623
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com