

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА КАК СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ

В данной работе рассматриваются проблемы формирования оптимального дизайна кислотной обработки призабойной зоны пласта. Приводятся результаты анализа обработок добывающих и нагнетательных скважин, проведенных при традиционном подходе и с использованием разработанного комплексного подхода к подбору состава химических композиций и формированию дизайна на основе теоретических знаний и практического опыта.

Ключевые слова: обработка призабойной зоны пласта, химические реагенты, загрязнение призабойной зоны.

Обработка призабойной зоны пласта

Обработка призабойной зоны (ОПЗ) пласта является одним из относительно недорогих, эффективных и часто применяемых на производстве методов увеличения дебита добывающих и приемистости нагнетательных скважин. Целью ОПЗ является устранение загрязнения призабойной зоны пласта (ПЗП) возникающее по ряду причин, в частности, из-за фильтрации бурового раствора при первичном вскрытии пласта, фильтрации тампонажной жидкости при цементации обсадной колонны, при вторичном вскрытии пласта кумулятивными зарядами, фильтрации жидкостей глушения во время проведения ремонтных работ, в процессе добычи и закачки рабочего агента для поддержания пластового давления.

Традиционный подход к дизайну ОПЗ основывается только на таком параметре как эффективная мощность пласта коллектора, в то время как оптимальный дизайн, позволяющий достичь максимального эффекта, должен учитывать причину загрязнения ПЗП и такие свойства пласта как температура, фильтрационно-емкостные свойства, гранулометрический и минералогический составы породы, полученные на основе исследований керна, а также химический состав пластовых флюидов.

Для решения проблемы формирования оптимального дизайна кислотной обработки ПЗП был проведен анализ существующих методик и подходов к дизайну кислотных обработок, применяемых при разработке российских и зарубежных месторождений.

В работе рассмотрены два основных направления обработок ПЗП: на скважинах, используемых для поддержания пластового давления (ППД) с целью увеличения приемистости, и добывающих скважинах с целью увеличения дебита скважинной продукции. Для каждого случая приводятся результаты химических обработок, проведенных на основе традиционного подхода к дизайну и при закачке химических композиций, сформированных на основе разработанной методики для создания оптимального дизайна, учитывающей как теоретический, так и практический опыт проведения операций по обработке ПЗП.

Стандартная обработка ПЗП

При стандартном подходе к дизайну кислотных обработок учитывается исключительно такой параметр как эффективная мощность пласта коллектора.

До сегодняшнего дня на практике применялись два типа обработок, отличие которых состояло в применении двух различных кислот – соляной (раствор 12% HCl) и грязевой (раствор 12% HCl + 3% HF). Выбор между ними основывался в основном на практическом опыте.

Анализ эффективности стандартного подхода к дизайну кислотных обработок базируется на основе обработок ПЗП, проведенных на месторождениях Филиала «Муравленковскнефть» ОАО «Газпромнефть-ННГ», расположенных в Западной Сибири. Большинство рассмотренных месторождений находятся на третьей стадии разработки, на которой огромное значение для поддержания уровней добычи приобретают методы интенсификации, такие как обработка ПЗП. Календарный период данных, включенных в анализ, составил 6 месяцев – с августа 2008 года по

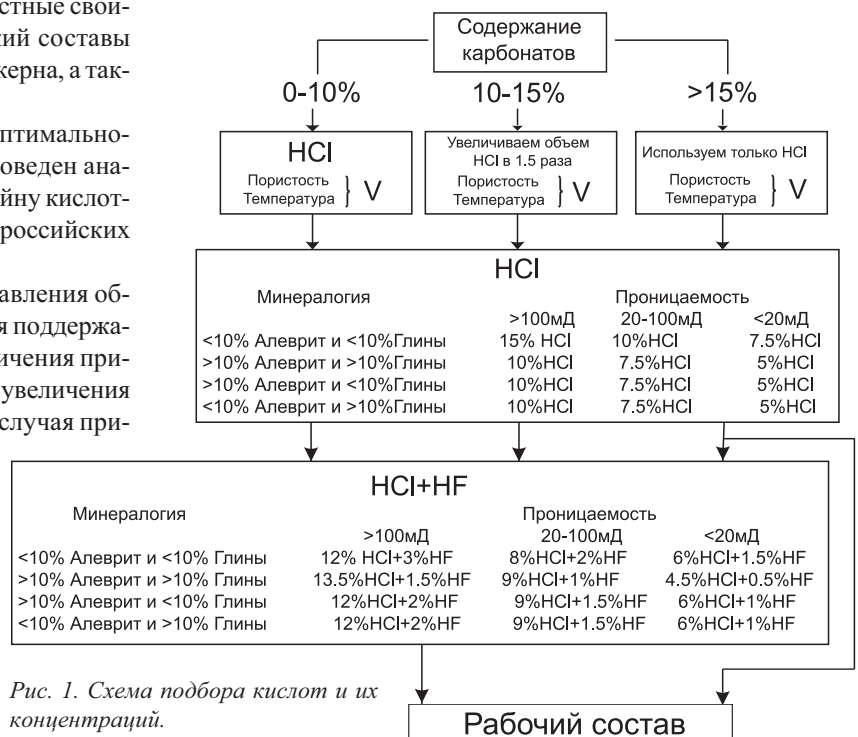


Рис. 1. Схема подбора кислот и их концентраций.

январь 2009 года включительно.

В анализе участвовали скважины, во-первых, работающие в стабильном режиме после проведения ОПЗ, без проведения дополнительной стимуляции пласта такими методами как реперфорация, гидравлический разрыв пласта (ГРП) и т.д. Во-вторых, критерием отбора послужил факт работы скважины на единственный обработанный пласт до и после проведения ОПЗ, достаточное для оценки эффекта время.

Применяя вышеуказанные критерии для анализа были отобраны 143 скважины, обработанные за указанный период, из которых 64 добывающих и 79 нагнетательных.

При увеличении дебита скважинной продукции, сохранении или снижении процента обводненности и сохранении эффекта в течение 6 месяцев обработка ПЗП добывающей скважины, приводящая к увеличению дебита по нефти минимум на 1,5 т/сут, считалась эффективной.

В случае нагнетательной скважины обработка признавалась эффективной в случае увеличения приемистости не менее чем на 30% по сравнению с первоначальной при равных давлениях закачки до и после обработки с сохранением эффекта в течение 6 месяцев, аналогично случаю с добывающей скважиной.

В таблице 1 представлены результаты анализа эффективности кислотных обработок добывающих и нагнетательных скважин при стандартном дизайне кислотных обработок.

Анализ применения стандартного подхода при проведении ОПЗ показал, что эффективность на добывающих скважинах составляет не более 38%, а на нагнетательных не более 50%.

Причинами крайне низкой эффективности проведенных мероприятий по ОПЗ являются:

1. Некорректное определение характера и степени загрязнения призабойной зоны;
2. Непринятые во внимание фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) и петрофизические свойства пласта, такие как глинистость, карбонатность, песчаность, смазываемость и т.п.;
3. Некорректно выбранный режим закачки реагентов и время реагирования.

Комплексная обработка ПЗП

С учетом проведенного анализа для решения проблемы повышения эффективности проводимых мероприя-

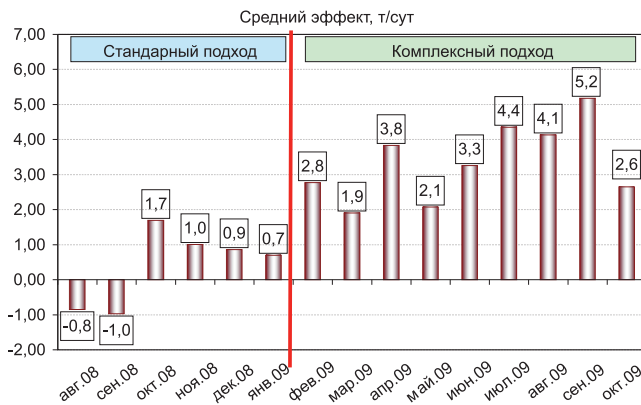


Рис. 2. Средний прирост дебита нефти на одну обработанную скважину за рассматриваемый период.

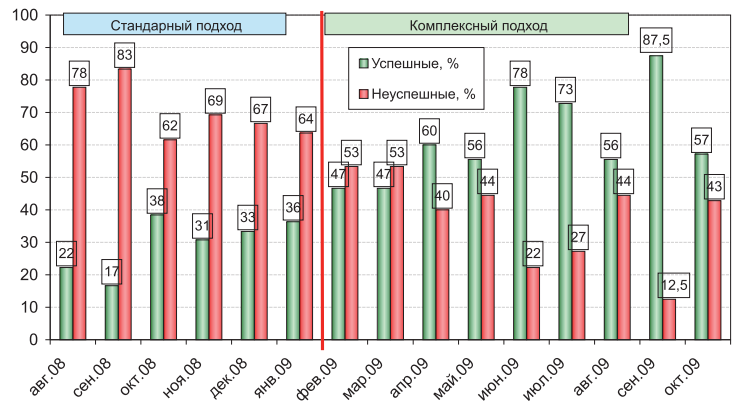


Рис. 3. Соотношение успешных и неуспешных обработок добывающих скважин за каждый месяц рассматриваемого периода.

тий по ОПЗ на основе теоретического материала были выделены три основных этапа формирования оптимального дизайна обработки ПЗП.

1 этап

На первом этапе анализа определяется целесообразность проведения ОПЗ на основе достоверной информации о процессе первичного вскрытия пласта, истории работы скважины, динамики изменения пластового давления, проведенных работах по капитальному ремонту и геолого-технологических мероприятиях на скважинах региона дислокации потенциального кандидата на ОПЗ. Оценка проницаемости, степени загрязненности ПЗП и энергетического состояния залежи возможна посредством проведения гидродинамических исследований (ГДИС) непосредственно на рассматриваемой скважине.

2 этап

На втором этапе производится подбор реагентов, требуемых объемов и концентраций с указанием очередности их закачки.

Параметрами, определяющими выбор состава, концентраций и объемов химических реагентов основной стадии обработки ПЗП, нацеленной на растворение веществ, вызвавших увеличение гидравлического сопротивления, являются минералогический состав пласта коллектора, пластовая температура, компонентный состав самих загрязняющих веществ и предполагаемый радиус их распространения (Schechter, 1992).

3 этап

Результатом третьего этапа является формирование дизайна обработки с указанием всех стадий технологичес-

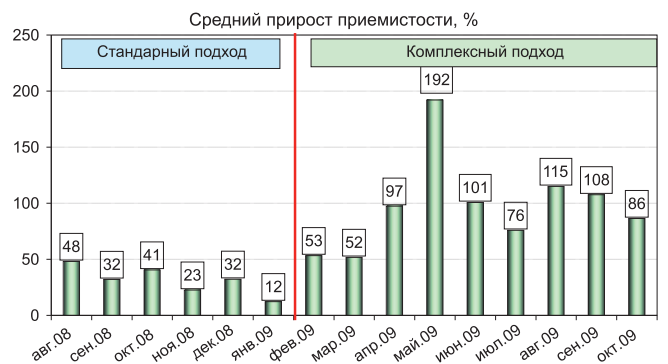


Рис. 4. Средний прирост приемистости нагнетательной скважины в процентах от начальной приемистости на одну обработанную скважину.

ких операций при проведении ОПЗ и предельно допустимого рабочего давления.

На данном этапе учитывается проницаемость пласта коллектора, конструкция скважины и установленное подземное оборудование, влияющие на значение максимально допустимого давления закачки химических реагентов и буферных жидкостей при проведении обработки. Давление закачки, во-первых, не должно превышать давления апрессовки эксплуатационной колонны при отсутствии пакера, во-вторых, созданное забойное давление не должно превышать давления гидроразрыва пласта (ГРП).

На основе сформированной теории оптимального дизайна обработки ПЗП была разработана и апробирована процедура очистки ПЗП на терригенных коллекторах, включающая в себя три стадии: подготовительную, основную – обработку основным составом и завершающую.

1 стадия

Стадия подготовки породы ПЗП, основным компонентом которой является буферная жидкость с добавками различных ПАВ, преследует две основные цели. Первая из которых состоит в вытеснении углеводородов из ПЗП путем закачки ароматических растворителей, позволяющих обеспечить растворение органических отложений и выровнять профиль распределения кислоты по разрезу пласта. Вторая цель – вытеснение остаточной пластовой воды из призабойной зоны вглубь пласта раствором поверхностно активных веществ (ПАВ). Данная операция снижает вероятность возникновения реакций плавиковой кислоты, (HF) закачиваемой на 2 стадии обработки, содержащейся в составе грязевой кислоты, с ионами калия (K^+), натрия (Na^+) или кальция (Ca^{2+}), входящих в состав пластовой воды, что позволяет минимизировать выпадение нерастворимых фторсиликатов (Williams, 1975).

2 стадия

Вторая стадия закачки – основная. На данной стадии производится закачка кислотных составов для восстановления первоначальной проницаемости породы пласта коллектора. Стадия включает в себя последовательную закачку растворов соляной и грязевой кислот.

При обработке терригенных коллекторов основным составом является грязевая кислота, которая готовится на основе соляной или какой-либо органической кислоты для поддержания высокой кислотности и предотвращения выпадения нерастворимых продуктов в процессе реакции. Плавиковая кислота, входящая в состав грязевой, единственная кислота, обладающая способностью растворять кварц и соединения кремния, являющиеся основными компонентами терригенного коллектора и, одновременно, основным материалом, снижающим проницаемость призабойной зоны (Kline, Fogler, 1981). Преимущества грязевой кислоты состоит в ее эффективности, распространенности и относительно невысокой стоимости.

Для подбора кислотной композиции основной стадии обработки, в первую очередь, осуществляется проверка степени карбонатности породы. Это позволяет определить с необходимостью использования грязевой кислоты и с объемами предварительной закачки соляной кислоты для растворения карбонатного материала и минимизации выпадения фторида кальция – нерастворимого осадка, являющегося продуктом реакции плавиковой кислоты с карбонатами. В случае высокой степени карбона-

Месяц		Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.
добывающие	Отношение успешных операций к общему числу операций за месяц, %	22	17	38	31	33	36
	Средний прирост дебита нефти на 1 скважину, т/сут	-0,8	-1,0	1,7	1,0	0,9	0,7
нагнетательные	Отношение успешных операций к общему числу операций за месяц, %	50	43	33	25	18	25

Табл. 1. Результаты анализа эффективности применения стандартного подхода к кислотным обработкам.

Стадия	Закачиваемые реагенты	Назначение
1.1	Ароматические растворители	Удаление органических отложений и нефти
1.2	ПАВы	Удаление остаточной пластовой воды
2.1	Соляная или органические кислоты	Растворение карбонатных компонент пласта коллектора
2.2	ПАВы	Буферная пачка
2.3	Грязевая кислота	Удаление загрязняющих веществ и увеличения проводимости ПЗП
3	ПАВы	Продавка в пласт непрореагировавшей части грязевой кислоты, продуктов реакции; Сохранение первоначальной смачиваемости и относительной фазовой проницаемости породы в ПЗП.

Табл. 2. Типовой дизайн разработанный для обработки терригенных коллекторов.

тизации рекомендуется отказаться от использования грязевой кислоты в силу вышеуказанной причины, а в случае малого процентного содержания карбонатов в породе пласта-коллектора на основе проницаемости, минералогического и гранулометрического состава проводится расчет оптимального соотношения соляной и плавиковой кислот в составе грязевой кислоты (Economides, Nolte, 2000).

При выборе концентрации кислот учитывается пластовая температура, оказывающая существенное влияние на скорость протекания химических реакций.

Для предотвращения повреждения эксплуатационной колонны и подземного оборудования в состав рабочих жидкостей добавляются ингибиторы коррозии.

Процесс подбора кислот и их концентраций схематически показан на Рис. 1.

Практика показала, что для усиления эффекта воздействия на ПЗП между соляной и грязевой кислотами необходимо закачивать в пласт буферную жидкость содержащую ПАВ. В ходе исследований было установлено, что наилучший эффект достигается при сочетании моющих ПАВ для удаления продуктов реакции соляной кислоты с поверхности пор и гидрофобизаторов для снижения влияния закачиваемой кислоты на промытую часть пласта.

При формировании дизайна ОПЗ следует учитывать и тот факт, что кислотные обработки, проводимые в промышленных условиях, имеют определенные особенности, связанные с техническими ограничениями. Одной из них является замена дистиллированной воды, необходимой для приготовления растворов кислот, ПАВов и т.д. на техническую. Это связано со сложностью доставки на обрабатываемую скважину необходимого количества дистиллированной воды, особенно на удаленные месторождения. Очевидно, что в технической воде, высоко содержание солей, а именно их ионов Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO^- , что приводит к возникновению химических реакций на этапе подготовки кислотных систем, следствием которых является снижение концентрации химических реагентов в жидкостях обработки и содержанием в них продуктов реакции. Это вносит свои корректировки при расчете концен-

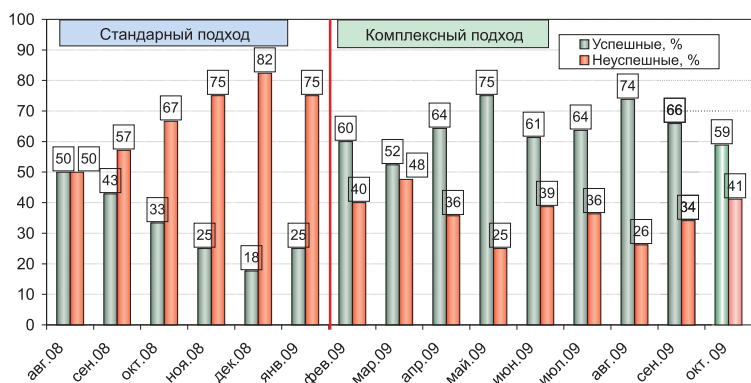


Рис. 5. Соотношение успешных и неуспешных обработок нагнетательных скважин за каждый месяц рассматриваемого периода.

траций кислот, используемых при обработке ПЗП, а именно использование более концентрированных кислотных составов.

3 стадия

На завершающей стадии обработки ПЗП производится закачка растворов различных комбинаций ПАВ для предотвращения изменения смачиваемости и фазовой проницаемости породы, влияющих на эффективную проницаемость, а также вытеснения продуктов реакции из призабойной зоны вглубь пласта для снижения степени их влияния на продуктивность скважины.

На основе всего вышеперечисленного, можно составить типовой дизайн обработки терригенных коллекторов (Табл. 2).

Анализ результатов

Аналогично анализу эффекта от ОПЗ на основе стандартного подхода был проведен анализ эффективности применения нового комплексного подхода к кислотным обработкам ПЗП. Для анализа было отобрано 331 скважин, из них 93 скважины добывающие, 238 – нагнетательные. Календарный период данных, включенных в анализ, составил 6 месяцев – с февраля 2009 года по сентябрь 2009 года включительно. Для оценки эффективности обработок были применены те же критерии, что и для анализа стандартного подхода.

На рисунках 2 – 5 показаны результаты анализа обработок добывающих и нагнетательных скважин на основе стандартного и предложенного подхода.

Анализ показал, что доля успешных обработок ПЗП увеличилась в среднем на 41% в случае добывающих скважин и на 39% – для нагнетательных.

Как в случае нагнетательных скважин, так и в случае добывающих наблюдается тенденция к росту эффективности обработок. Увеличение среднего прироста дебита нефти на одну скважину после кислотной обработки составляет 2,7 т/сут. По отношению к нагнетательным скважинам увеличение составило 67%. Однако, несмотря на достигнутые результаты, успешность обработок все еще не достигает 100 процентов. Это связано с тем, что в настоящее время составы рассчитываются на основе усредненных параметров пластов (пористость, проницаемость, глинистость, содержание карбонатов и т.д.), в то время как разрабатываемые объекты характеризуются сложным геологическим строением и присутствием зональных изме-

нений ФЕС, увеличением глинистости и карбонатности пород-коллекторов. Путем тщательного анализа результатов проводимых обработок производится выделение регионов пластов, на которых те или иные составы имеют наибольшую эффективность, благодаря чему тенденция к росту общей эффективности сохранится.

Заключение

На сегодняшний день разработанный трех этапный подход к формированию дизайна обработки ПЗП внедрен и широко применяется на месторождениях разрабатываемых Филиалом «Муравленковскнефть» ОАО «Газпромнефть-ННГ». По сравнению со стандартным подходом доля успешных операций возросла в среднем по добывающим и нагнетательным скважинам на 40%.

Литература

- Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir stimulation. 2000.
- Kline W.E. and Fogler H.S. Dissolution of Silicate Minerals by Hydrofluoric Acid. *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 20 (2). 1981. 151-161.
- Schechter R.S. Oil Well Stimulation. Englewood Cliffs, USA, Prentice Hall. 1992.
- Williams B.B. Hydrofluoric Acid Reaction with Sandstone Formations. 1975.

I.A. Petrov, M.A. Azamatov, P.M. Drofa. **Complex approach to matrix acidizing as stimulation technique.**

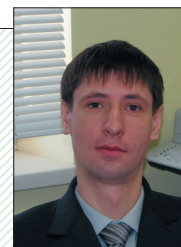
In present work issues of optimal matrix acidizing design on forming the basis of theoretical skills and field experience are presented. Analysis results of production and injection wells treatments conducted by conventional approach and by using developed methodology of chemical compositions injection are considered.

Keywords: matrix acidizing, chemical agents, near-wellbore zone damage.

Петров Иван Андреевич

Начальник отдела по работе с пластом. Научные интересы: геология и разработка нефтяных и газовых месторождений, современные методы интенсификации притока, физика полупроводников и полупроводниковых приборов, моделирование физических процессов и т.д.

629603, РФ, Тюм. область, ЯНАО, г. Муравленко, ул. Ленина, д. 82/19. Тел.: +7 9220-60-10-15.



Дрофа Павел Михайлович

Инженер, отдел по работе с пластом филиала «Муравленковскнефть» ОАО «Газпромнефть-ННГ». Научные интересы: химизация производственных процессов добычи нефти, процессы и аппараты подготовки, переработки нефти, органического синтеза, новые технологии в добыче нефти и газа и т.д.

629603, РФ, Тюм. область, ЯНАО, г. Муравленко, ул. Ленина, д. 82/19. Тел.: +7 9044-55-81-70.

