

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАПРАВЛЕННОЙ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Ключевые слова: интенсификация добычи нефти, кислотная обработка, направленные кислотные обработки, самоотклоняющаяся кислота, вязкоупругие ПАВ.

Обычно в процессе проведения кислотной обработки кислота следует путями наименьшего сопротивления, препятствуя, таким образом, равномерной обработке продуктивного интервала. В настоящее время существуют различные методы направленной кислотной обработки, обеспечивающие адресную закачку кислоты в нужный интервал. Одним из таких методов, используемых для повышения эффективности кислотной обработки, является применение самоотклоняющихся кислотных составов.

Данная статья содержит краткий обзор широко используемых методов отклонения и сравнительный обзор вязкоупругого ПАВ КАТОЛ-40 для самоотклоняющихся кислотных систем, разработанного ГК «Миррико».

С.А. БУРЯЧОК, ведущий инженер технологической службы
А.В. МАЛЫГИН, начальник технологической службы
М.А. ЮТЯЕВ, управляющий директор
ООО «Промышленная химия», Группа компаний «Миррико»
E-mail: info@mirrico.com



Проведение кислотных обработок является одним из самых простых и распространенных химических методов интенсификации добычи нефти, восстановления продуктивности добывающих и приемистости нагнетательных скважин. Несмотря на простоту метода, стоит серьезно относиться к планированию и проведению кислотных обработок. Проведенный анализ более 650 кислотных обработок (G. Passaloni, M. Tambini) показал, что в 73% случаев причина неудач заключается в некорректном выборе технологии кислотной обработки, в то время как 27% причин неудач относится к некорректному выбору кислотных составов, объемов и последовательности этапов обработки [1].

Кислотные обработки проводятся с целью решения следующих задач: (1) снижение скин-фактора посредством удаления минеральных и органических отложений из ПЗП; (2) повышение гидропроводности низкопроницаемых участков пласта; (3) выравнивание профиля притока добывающих/профиля приемистости нагнетательных скважин. Однако зачастую обычные кислотные обработки не приводят к эф-

фективному решению указанных выше задач. Связано это в большей степени с тем, что при закачке кислоты в пласт она предпочтительно движется по путям наименьшего сопротивления, оставляя необработанными низкопроницаемые участки, что в итоге приводит к неравномерности обработки пласта как по площади, так и по глубине (рис. 1). Нерав-

номерность обработки интервала связана с неравномерностью профиля приемистости в процессе кислотной обработки. При этом профиль приемистости того или иного интервала определяется следующими факторами [2]:

- ⊙ различиями в проницаемости по интервалу (k);
- ⊙ различиями в величине скин-фактора по интервалу (s);

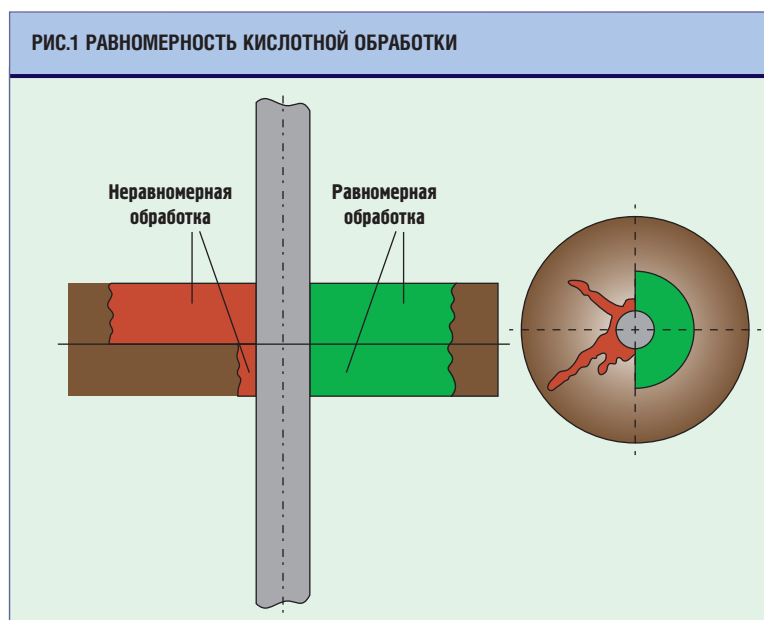
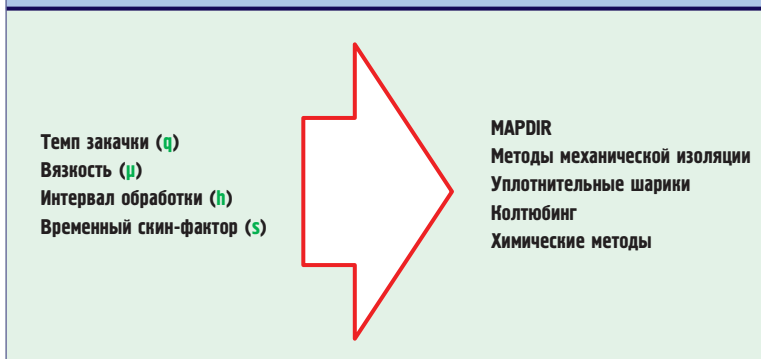


РИС.2 МЕТОДЫ ОТКЛОНЕНИЯ КИСЛОТЫ



- ⊙ различиями в реакционной способности породы по интервалу;
- ⊙ различиями в пластовых давлениях (p);
- ⊙ различиями в вязкости пластовых флюидов;
- ⊙ наличием трещин;
- ⊙ комбинацией перечисленных факторов.

Помимо этого, в процессе кислотной обработки при постепенном расходовании кислоты на реагирование в более «проводимом» участке приемистость данного участка возрастает (образование доминирующих червоточин), препятствуя еще в большей степени равномерной обработке всего продуктивного интервала. Повторные простые кислотные обработки не приводят к существенному улучшению результатов предыдущих обработок. Таким образом, гетерогенность обрабатываемого интервала большей частью определяет равномерность обработки кислотой. Во многом это относится к горизонтальным скважинам и вертикальным скважинам с большим продуктивным интервалом.

Эффективным решением задач по равномерному повышению гидропроводности низкопроницаемых участков призабойной зоны пласта является проведение так называемых направленных кислотных обработок (НКО). О необходимости способов равномерного распределения кислоты при обработках было заявлено еще в конце XX века главным химиком в Standard Oil Solar Refinery Германом Фрашем (Herman Frasch), который предлагал использовать «резиновый пакер» для изоляции необрабатываемого интервала [2].

При проведении кислотных обработок имеется ряд факторов, которые возможно контролировать для перенаправления потоков кислоты в необработанные участки в целях более равномерной обработки (рис.2), в соответствии с чем выделяют ряд методов отклонения [2].

Наиболее простым из перечисленных выше методов является MAPDIR (Maximum Pressure Differential and Injection Rates — максимальный градиент давления и скорость закачки), который, как видно из определения, подразумевает закачку кислоты на максимально возможных темпах закачки (q), не превышая давления гидроразрыва. Несмотря на многочисленную критику, данный метод подтвердил свою эффективность при стимуляции скважин с продуктивным интервалом вплоть до 140 метров. Однако он имеет свои ограничения и пригоден для стимуляции скважин с ограниченным различием в проницаемости по продуктивному интервалу [3].

Механические методы (например, с применением пакеров, мостов) [5] считаются наиболее эффективными и гарантированными способами направленной кислотной обработки. Они заключаются в механической блокировке (h) наиболее проводимых участков продуктивного интервала. Однако, с другой стороны, имеется ряд недостатков данных методов: технологическая сложность, дороговизна и большие временные затраты на проведение работ [3, 5].

Более простым с технологической и экономической точек зрения является применение уплот-

няющих шариков. Данный метод отклонения заключается во временной блокировке (s) шариками перфорационных отверстий в интервале наибольшей приемистости (формирование так называемого временного скин-фактора), и отклонении последующих порций кислоты в менее проводимые участки.

Однако следует учитывать множество факторов при применении уплотняющих шариков: высота интервала перфорации, плотность перфорационных отверстий, округлость перфорационных отверстий, темп закачки, удаление шариков из скважины по окончании обработки.

Кроме того, следует отметить невозможность применения уплотняющих шариков в необсаженных стволах скважин, а также ограниченность применения в обсаженных горизонтальных стволах, где ввиду возможного осаждения шариков возникают сложности в блокировке перфорационных отверстий в верхней части ствола.

Колтюбинг (h) — также эффективный способ направленной закачки кислоты в нужный интервал, при этом он относительно прост в исполнении. Помимо этого, преимуществом является быстрота доставки флюидов к пласту. Однако следует учитывать следующие отрицательные моменты: невозможность использования уплотняющих шариков и твердых частиц и лимитацию темпов закачки.

Описанные выше методы относятся к методам, отклоняющим кислоту до входа в призабойную зону пласта и имеют ряд ограничений, связанных с конструктивными особенностями скважин, — наличие гравийного фильтра, необсаженные стволы, горизонтальные стволы скважин.

Химические методы с этой точки зрения являются универсальными (за исключением методов с применением твердофазных частиц) и, по сути, единственными способными регулирования процессов, происходящих в призабойной зоне пласта. Широкое распространение в настоящее время получили следующие химические методы: загеливающие системы на основе полимеров,

технология закачки кислоты с использованием «пачек-отклонителей» (viscouspills) как на полимерной [5], так и на эмульсионной основе [5, 6], кислотные эмульсии [5], пенокислотные обработки, самоотклоняющиеся кислотные составы на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ [7].

Механизм отклонения данных методов в целом основан на блокировке наиболее проводимых участков составами с вязкостью (начальной либо формирующейся в процессе обработки), достаточной для отклонения последующих порций кислоты в менее проводимые участки.

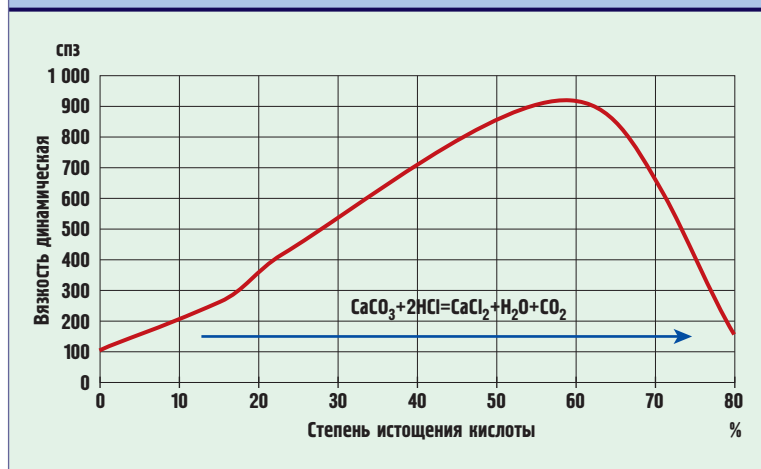
Пенокислотные системы представляют собой двухфазную систему, где в качестве дисперсной фазы выступает газ — азот либо диоксид углерода. Являясь эффективным методом отклонения, они, тем не менее, требуют особого контроля над стабильностью пены. Пена должна обладать достаточной стабильностью в течение промежутка времени до закачки в пласт, либо требуется привлечение колтюбинга, способного производить быструю доставку пенокислотной системы к пласту.

Технология с применением «пачек-отклонителей» проста в исполнении и заключается в приготовлении вязких отклоняющих составов, их закачке в пласт и последующей закачке кислоты.

При использовании загеленных с помощью полимеров кислотных составов и эмульсионных отклонителей следует учитывать ряд аспектов применения: необходимость в разрушении высоковязких систем после обработки и их последующем выносе из ПЗП, лимитация темпов закачки вследствие высокой начальной вязкости, а также связанные с этим проблемы невозможности закачки всего планируемого объема состава из-за значительного повышения давления до предельно допустимого. В случае полимерных систем возможны осложнения, связанные с коагуляцией призабойной зоны пласта молекулами полимера.

Также стоит отметить, что — особенно при обработках карбонатных коллекторов — адресная закачка кислоты в нужный интер-

РИС.3 ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ КИСЛОТНОГО СОСТАВА С ДОБАВКОЙ 5% РЕАГЕНТА КАТОЛ-40 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ИСТОЩЕНИЯ КИСЛОТЫ



вал не гарантирует ее эффективное расходование в пласте, а именно создание сети каналов червоточин, нежели доминирующих каверн. Кроме того, нежелательной является стимуляция водонасыщенных интервалов, соответственно, возникает необходимость в селективных агентах, способных блокировать водонасыщенные участки и стимулировать нефтенасыщенные.

В последнее время высокую технологическую эффективность показывают самоотклоняющиеся кислотные составы (СОКС) с применением загеливателей на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ. Причины привлекательности технологии:

- ⊙ Технологическая простота проведения кислотной обработки, возможность проведения бесподходной обработки;
- ⊙ Равномерность обработки с образованием разветвленной сети каналов-червоточин, выражающаяся в эффективности расходования кислоты;
- ⊙ Высокий темп закачки благодаря реологическим свойствам состава. При больших сдвиговых нагрузках происходит снижение вязкости, при снятии нагрузок — восстановление структуры и повышение вязкости;
- ⊙ Селективность технологии.

Применение вязкоупругих кислотных систем позволяет исключить возможные осложнения, связанные с традиционными технологиями направленной кислотной об-

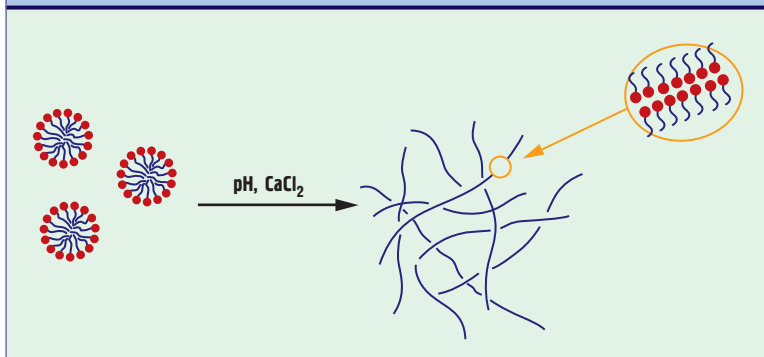
работки, и эффективно решить задачи по повышению гидропроводности низкопроницаемых участков пласта и выравниванию профиля притока добывающих/профиля приемистости нагнетательных скважин.

Уникальность заключается в самоотклоняющейся способности СОКС в процессе кислотной обработки карбонатного коллектора. Вязкость состава возрастает лишь по мере взаимодействия с породой коллектора. По мере истощения кислоты (растворения карбонатной породы) происходит формирование вязкоупругого геля, отклоняющего последующие порции кислоты в ранее не обработанные участки. Механизм работы СОКС можно рассмотреть на примере вязкоупругого отклонителя для кислот КАТОЛ-40 производства ГК «Миррико».

Образуемый вязкоупругий гель по структуре своей в первом приближении напоминает полимерный. Отличие заключается в том, что вместо молекул полимеров выступают динамические образования — червеобразные мицеллы, состоящие из поверхностно-активных веществ. При достижении определенной концентрации перекрывания данные супрамолекулярные структуры образуют так называемую сетку зацеплений, что в конечном итоге и приводит к формированию вязкоупругого геля.

Формированию червеобразных мицелл и их дальнейшему ро-

РИС.4 ФОРМИРОВАНИЕ ЧЕРВЕОБРАЗНЫХ МИЦЕЛЛ



сту способствует ряд факторов: наличие органических и неорганических солей, величина pH, наличие со-ПАВ и т.п. При реагировании соляной кислоты с карбонатной породой пласта происходит образование хлорида кальция и повышение pH. Данные факторы содействуют постепенному формированию вязкоупругого геля.

На рис. 3 изображена зависимость вязкости кислотного состава с содержанием 5%-ного реагента КАТОЛ-40 от степени истощения кислоты. Как видно из рисунка, при постепенном расходовании кислоты вязкость состава повышается и достигает своего максимального значения. Затем, при достижении определенной концентрации соли и значения pH, вязкость понижается, что является следствием вероятного формирования локальных ответвлений у червеобразных мицелл и изменения механизма релаксации [4].

Не менее важной особенностью является селективность геля, выражающаяся в обратимо-

сти процесса формирования червеобразных мицелл, которые способны разрушаться при контакте с углеводородной фазой.

Несмотря на наличие ряда методов отклонения, способных осуществить адресную закачку кислоты и провести равномерную обработку по пласту, технология СКО с применением реагента КАТОЛ-40 проста в исполнении. Процесс заключается в смешении жидкого вязкоупругого ПАВ с кислотой и закачке готовой технологической жидкости в пласт. Резюмируя вышесказанное, помимо простоты в приготовлении, преимуществами самоотклоняющегося кислотного состава с добавкой ВУПАВ являются:

⊙ Селективная обработка коллектора без применения «пачек-отклонителей». Обеспечивает технологическую простоту проведения обработки. Возможна обработка как исключительно кислотой, содержащей ВУПАВ, так и чередованием порций соляной кислоты и порций кислоты с добавкой ВУПАВ. Причем в первом ис-

полнении эффективность обработки выше;

- ⊙ Отсутствие кольматации порового пространства. Размер молекулы вязкоупругих ПАВ значительно меньше размеров порового пространства, что предотвращает блокировку пор и способствует их выносу из пласта;
- ⊙ Разжижение вязкоупругого геля при контакте с нефтью (селективность технологии);
- ⊙ Равномерность обработки интервала. За счет самоотклоняющейся способности реагента достигается образование равномерной сети каналов, а не доминирующих червоточин;
- ⊙ Эффективность расходования кислоты. За счет равномерности обработки по толщине и по площади пласта кислота расходуется более эффективно в отличие от обычных СКО;
- ⊙ Начальная вязкость кислотного состава с добавкой ВУПАВ сопоставима с вязкостью самой кислоты.

Широкий спектр возможных технологий и методов направленной кислотной обработки в настоящее время позволяет эффективно решать задачи по повышению гидропроводности низкопроницаемых участков пласта и выравниванию профиля притока добывающих/профиля приемистости нагнетательных скважин. Низкая стоимость простых солянокислотных обработок не оправдывает их невысокую эффективность, и при выборе методов воздействия необходимо руководствоваться как экономическими, так и технологическими факторами. [5]

Литература:

1. G. Paccaloni, M. Tambini, SPE 20623 Advances in Matrix Stimulation Technology;
2. L.J. Kalfayan, A.N. Martin, SPE 124141 The art and practice of acid placement and diversion: History, Present State and Futury;
3. G. Paccaloni, SPE 24781 A New, Effective Matrix Stimulation Diversion Technique;
4. M.E. Catest and S.J. Candau Statics and dynamics of worm-like surfactant micelles J. Phys.: Condens. Matter 2 (1990) 6869-6892;
5. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Макаренко П.П., Яремичук Р.С. Освоение скважин: Справочное пособие / Под ред. Р.С. Яремичука. / М.: ООО «Недра-издесцентр», 1999;
6. Сургучев М.Л., Колганов В.И., Гавура А.В. [и др.]. Извлечение нефти из карбонатных коллекторов М.: Недрa, 1987;
7. Илясов С., Мантров А., Конченко А. и др. Химические отклонители для повышения продуктивности и снижения обводненности скважин / Oil & Gas Journal Russia — май 2010 — С.62-64;
8. В.А. Амиян, А.В. Амиян, Л.В. Казакевич, Е.Н. Бекиш Применение пенных систем в нефтегазодобыче / М.: Недрa, 1987.