

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КИСЛОТНОГО ГИДРОРАЗРЫВА
НА ОБЪЕКТАХ ОАО «ТАТНЕФТЬ»**
**OPTIMIZATION OF THE FORMATION ACID FRACTURING AT THE FACILITIES
OF OJSC «TATNEFT»**

И. И. Маннанов, Л. И. Гарипова

I. I. Mannanov, L. I. Garipova

Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск

*Ключевые слова: карбонатный коллектор; кислотный гидроразрыв пласта; темп закачки;
объем кислоты; время закачки; оптимизация*

*Key words: carbonate reservoir; formation acid fracturing; injection rate; acid volume;
pumping time; optimization*

Залежи нефти в карбонатных коллекторах по различным оценкам содержат 40–45 % мировых запасов нефти. Эти запасы относятся к категории трудноизвлекаемых. В Татарстане доля добываемой нефти из карбонатных коллекторов растет, в год добывается около 4,5 млн тонн. Налоговые льготы, принятые федеральным законодательством в 2013 году, делают экономически «привлекательной» добычу нефти из пород, проницаемость которых не превышает 2 мД. Под эту категорию попадают и карбонатные коллекторы.

Одним из направлений повышения эффективности разработки малопродуктивных трещиноватых коллекторов является кислотный гидравлический разрыв пласта (КГРП) [1].

Кислотные обработки карбонатных коллекторов являются наиболее распространенным способом химического воздействия на призабойную зону скважин для интенсификации добычи нефти. Несмотря на многолетний опыт применения и большой объем проведенных исследований, направленных на совершенствование и повышение эффективности метода, значительная часть обработок дает невысокие результаты.

Изучение оптимальных технологических параметров выполнения работ по кислотному гидроразрыву во многом определяет успешность работ. Критерием оптимальности кислотной обработки является глубина проникновения, геометрическая форма каналов «червоточин» и как результат технологический эффект обработок. Геометриче-

скую структуру образуемых «червоточин» в литературе связывают с числом Дамкелера, определяемым как отношение скорости химической реакции к скорости подвода реагента к поверхности реакции [2]. В общем случае его можно выразить как отношение характерного времени физического процесса t_{phys} к характерному времени химической реакции t_{chem} :

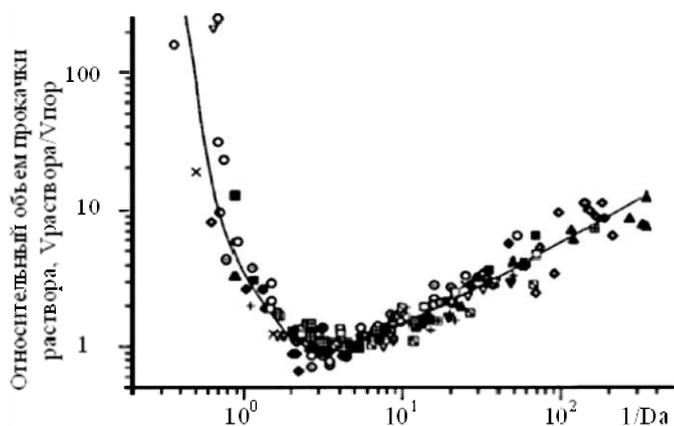
$$D_a = \frac{t_{phys}}{t_{chem}}. \quad (1)$$

Его значение определяет тип реакции: диффузионный при больших значениях числа и кинетический при малых. При характерных скоростях фильтрации жидкости через горные породы реализуется кинетический тип реакции, поэтому число Дамкелера для анализируемых процессов формулируется как отношение скорости реакции к скорости фильтрации раствора кислоты в пористой среде. Многочисленные опубликованные эксперименты показали, что оптимальный с точки зрения эффективности процесс закачки раствора кислоты соответствует значению числа Дамкелера, равному 0,3 (рис. 1) [1].

Экспериментальные данные основаны на анализе микроструктуры потока, в реальности в призабойной зоне образуется достаточно большое количество таких «червоточин» [2].

В соответствии с вышеизложенным оптимальным будет такой темп, при котором скорость химической реакции будет в 3 раза превышать скорость физического проникновения кислоты в пласт. С целью оценки возможности оптимизации технологического процесса по кислотному гидроразрыву авторами рассматриваются фактические параметры выполнения работ.

Рис. 1. Универсальная зависимость объема прокаченного раствора кислоты до момента ее прорыва на выходе из образца, отнесенная к поровому объему, от обратного числа Дамкелера



С целью изучения влияния технологических показателей выполнения работ по кислотному гидроразрыву на объем дополнительной добычи были проанализированы следующие показатели: темп закачки, объемы кислотной композиции, время закачки и результат прироста дебитов применительно к условиям выполнения работ в ОАО «Татнефть».

Для приведения всех рассматриваемых параметров в единую размерность учитывались удельные величины, в частности удельный расход, объем композиции и прирост дебита на 1 метр вскрытой толщины пласта.

На рис. 2 представлены результаты изучения парной зависимости между темпом закачки и объемом кислотной композиции. Для корректного отражения удельных величин на рисунке представлены результаты обработки с сопоставимыми значениями обрабатываемых толщин пласта, равных в среднем 10 м.

Изучение условий выполнения работ по кислотному гидроразрыву показало, что средний удельный объем кислотной композиции при выполнении кислотного гидроразрыва пластов изменяется от 4,4 м³/м до 14 м³/м перфорированной толщины пластов при подаче кислотной композиции с темпом от 1,8 до 10 м³/(час·м). Зависимость между

удельным темпом и объемами закачки кислоты при выполнении кислотного гидроразрыва представлена на рис. 2.

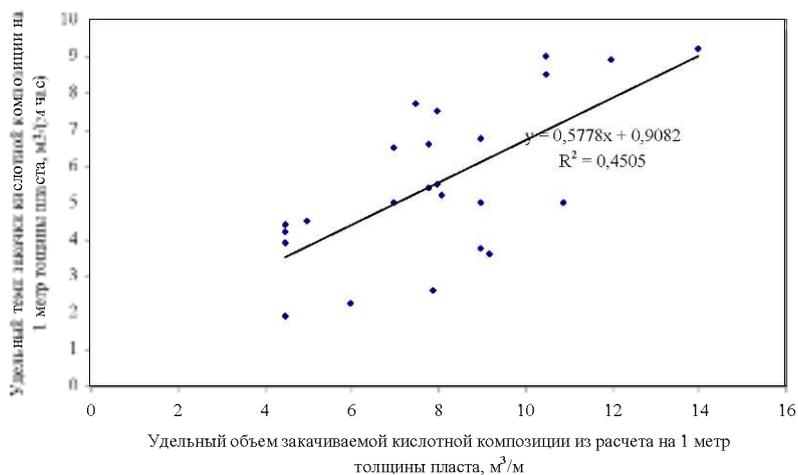


Рис. 2. Зависимость удельного темпа закачки кислотного состава и удельного объема композиции на 1 м обрабатываемой толщины пласта

По данным построения естественной является тенденция зависимости между темпом закачки и удельным объемом кислотной композиции. Для месторождений, представленных карбонатными коллекторами, увеличение объема и расхода кислоты ограничено давлением закачки, которое не должно превышать критический градиент давления на цементный камень или перемычку между нефтенасыщенными и водонасыщенными пластами.

Технология кислотного гидроразрыва пласта представляет собой последовательную закачку жидкости разрыва и кислотного состава. Различают два варианта проведения КГРП: обработка в режиме образования новой трещины и режим раскрытия существующей системы трещин. Давление закачки в первом случае превышает давление гидроразрыва, во втором закачка проходит при давлениях ниже давлений гидроразрыва. Далее рассмотрены показатели успешности выполнения работ совместно с технологическими показателями выполнения, в частности темпом закачки, количеством кислотной композиции и временем закачки кислоты.

Изучение влияния объема закаченной композиции на результат прироста дебита показано на рис. 3.

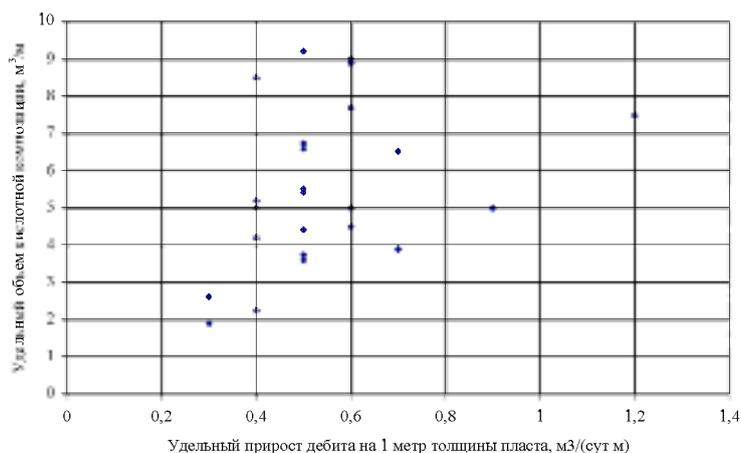


Рис. 3. Зависимость удельного прироста дебита от объема кислотной композиции

Анализ рисунка позволяет отметить, что влияние объема кислотной композиции на результат при объемах закачки более 4 м³ на 1 метр обрабатываемой толщины пласта проявляется в меньшей степени.

Аналогичные построения, учитывающие темп закачки, представлены на рис. 4. По данным рисунка отмечается зависимость между темпом закачки и приростом дебита.

По представленным данным можно констатировать факт, что увеличение темпа закачки кислотной композиции способствует повышению эффективности кислотного гидроразрыва, что естественно при учете глубины проникновения в пласт и скорости нейтрализации кислоты в пласте.

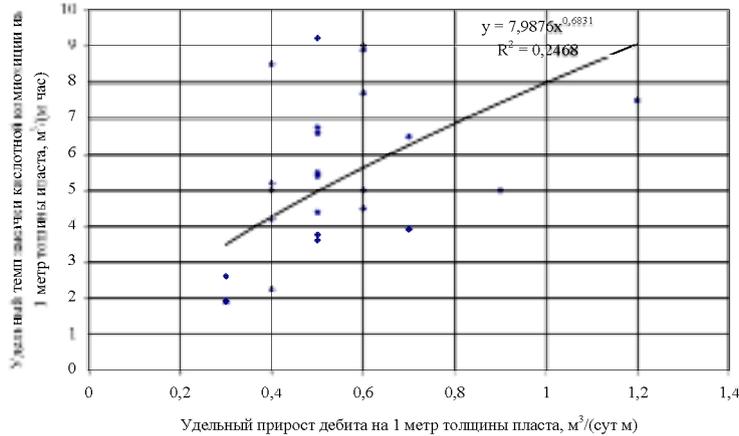


Рис. 4. Зависимость удельного прироста дебита от объема кислотной композиции

Влияние времени прокачки кислоты в пласт и ее нейтрализации в карбонатном коллекторе играет решающую роль в охвате пласта воздействием. Зависимость между временем закачки кислотной композиции и дополнительной добычей представлена на рис. 5. Согласно данным рисунка, сокращение времени закачки в конечном счете позволяет при прочих равных условиях увеличить скорость подвода кислоты в пласт и приблизить это значение к оптимальному, когда соотношение между химической реакцией и физическим проникновением кислотной композиции в пласт будет соответствовать оптимальному значению, равному 0,3.

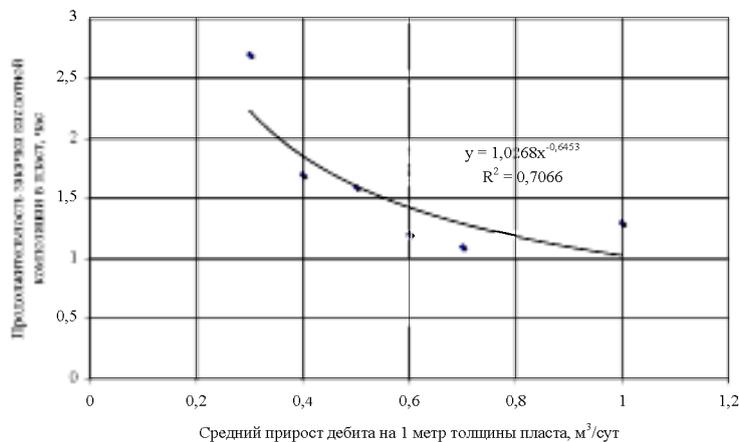


Рис. 5. Зависимость удельного прироста дебита от продолжительности закачки кислотной композиции

Результаты (см. рис. 5) получены путем группировки по данным выборки результатов выполнения работ. Результаты анализа показывают, что уменьшение времени прониновения кислотной композиции в пласт позволяет получить более высокие результаты. Однако необходимо учесть совокупно все зависимости. По данным анализов становится очевидным, что существует оптимальное сочетание между темпом и объемом закачки, позволяющее получить больший технологический эффект.

Эффективность кислотных обработок зависит от порядка скорости реакции, начальной концентрации, объема закачиваемой оторочки и достигает максимума при определенных скоростях закачки.

Результаты анализа промысловых данных позволяют утверждать, что темп закачки кислотной композиции при КГРП не достиг своего максимального значения, учитывающего скорость реакции кислоты с породой, в соответствии с данными числа Дамкелера. Эффект от обработок в первую очередь зависит от темпа закачки, который первичен при выполнении КГРП, остальные показатели вторичны.

Список литературы

1. Гарипова Л. И., Маннанов И. И. О перспективах применения кислотного ГРП на месторождениях ОАО «Татнефть» // Трудноизвлекаемые и нетрадиционные запасы углеводородного сырья опыт и прогнозы: материалы Международной научно-практической конференции (Казань, 3–4 сентября 2014 года). – Казань: Издательство «ФЭН», 2014. – С.184-186.
2. Смирнов А. С. Математическое моделирование процесса закачки кислоты в карбонатный пласт с учетом формирования «червоточин»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Специальность: 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». – Тюмень: Тюменский государственный университет, 2011. – 25 с.
3. Хисамов Р. С. Эффективность выработки трудноизвлекаемых запасов нефти. Учебное пособие. – Казань: Издательство «ФЭН» Академии наук Республики Татарстан, 2013. – 310 с.

Сведения об авторах

Маннанов Ильдар Илгизович, к. т. н., доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, тел. 89172950422

Гарипова Лилия Ильясовна, к. т. н., доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, e-mail: garipova_lilya@mail.ru

Information about the authors

Mannanov I. I., PhD in Engineering, Associate professor of the chair «Development and operation oil and gas fields», Almeteyvsk State Petroleum Institute, ASOI, Republic of Tatarstan phone: 89172950422

Garipova L. I., PhD in Engineering, Associate professor of the chair «Development and operation oil and gas fields», Almeteyvsk State Petroleum Institute, ASOI, Republic of Tatarstan, e-mail: garipova_lilya@mail.ru