

УДК 665.6/.7

ПОТООТКЛОНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Эпов И.Н., Зотова О.П.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: zotovaop@tsogu.ru

В работе дан обзор отечественного и зарубежного опыта применения потокоотклоняющих технологий. Приведены критерии применимости ПОТ. Представлена область применения для отдельных видов потокоотклоняющих технологий: сшитые полимерные составы, силикат-гелевые составы, эмульсионные составы. Представлена эффективность применения потокоотклоняющих технологий на Назаргалеевском месторождении, расположенном на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, установлено что наибольший эффект получен в результате закачки осадко-гелеобразующих (ОГС) и полимер-гелеобразующих (ПГС) составов, а наименьший – от закачки раствора избыточного ила. Проведен сравнительный анализ применимости отдельных ПОТ и параметров объекта разработки – пласта АС11. Установлено, что параметры пласта полностью подходят под критерии применимости технологий по закачке ОГС и ПГС, что стало причиной успешного проведения данных операций.

Ключевые слова: потокоотклоняющие технологии, критерии применимости технологий, полимер-гелеобразующий состав, осадко-гелеобразующий состав

FLOW DIVERTING TECHNOLOGIES AS A METHOD OF ENHANCED OIL RECOVERY IN RUSSIA AND ABROAD

Епов И.Н., Зотова О.П.

Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University», Tyumen, e-mail: zotovaop@tsogu.ru

The work gives an overview of domestic and foreign experience in the use of flow deviation technologies. Given the criteria for the applicability of flow deviation technologies. Presents scope for individual types of flow technologies: crosslinked polymer compositions, silicate-gel compositions, emulsion formulations. Presented the effect of flow deviation technologies application at Nazargaleevsky field, located on the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug -Yugra, established that the greatest effect was obtained by pumping rain-gelling (PRGC) and polymer-gel (PGC) compositions, and the smallest from the injection of a solution of excess sludge. A comparative analysis of the applicability of certain flow deviation technologies and parameters of the plant development – the formation АС₁₁. It is established that the reservoir parameters meet the criteria of the applicability of technologies for the removal of OGS and PGS, what was the reason for the successful conduct of these operations.

Keywords: flow diverting technologies, criteria for the applicability of technologies, polymer-gel-forming composition, sediment-gelling composition

На сегодняшний день большинство месторождений нефти в России эксплуатируются с использованием заводнения, обеспечивающего поддержание пластового давления и высокий темп извлечения нефти. Существенным недостатком данной технологии является неуклонно растущая обводненность скважинной продукции и неравномерная выработка запасов в неоднородных, сложно построенных коллекторах.

Повышение нефтеотдачи неоднородных залежей за счет вовлечения в разработку низкопроницаемых пластов является актуальным, так как наиболее крупные месторождения в России вступают в позднюю стадию эксплуатации, а доля трудноизвлекаемых запасов нефти неуклонно возрастает [1]. Одним из методов повышения нефтеотдачи в неоднородных низкопроницаемых пластах, который применяется отечественными и зарубежными специалистами, яв-

ляется потокоотклоняющие технологии (ПОТ). Обзор современных ПОТ показал, что на сегодня существует более 400 технологий, но в основном из них используется около ста [8]. Анализируя данные по применению технологий, можно сделать вывод о том, что наибольшее применение нашли дисперсные системы, гелеобразующие составы и растворы полимеров.

Обзор отечественного и зарубежного опыта

Одними из самых востребованных технологий является применение полиакриламида (ПАА) и его модификаций (сшитые полимерные системы, полимер-дисперсные составы, полимерно-щелочное заводнение и т.д.). Удельная технологическая эффективность данных видов обработок очень высокая – от 1000 до 5000 т нефти на 1 т сухого полимера. Наиболее активно технологии с применением

ПАА для увеличения нефтеотдачи применяются в следующих компаниях:

- ОАО «Сургутнефтегаз»;
- ОАО «Удмуртнефть»;
- ОАО «Татнефть»;
- ОАО «ЛУКОЙЛ» и др. [6].

В практике промысловых работ широкое применение нашли технологии с использованием водных растворов силиката натрия и хлористого кальция (технология КС), технологии, базирующиеся на применении осадкообразующих составов на основе сульфата натрия и хлористого кальция (технология ОС), сернокислого алюминия и хлористого кальция (технологии ДОС).

С применением полимердисперсных систем (ПДС) и ее модификаций на месторождениях Урало-Поволжья и Западной Сибири проведено более 1300 обработок высокообводненных (до 95–98%) участков пластов. В последние годы в ОАО «Татнефть» на поздней стадии разработки Ромашкинского, Ново-Елховского и других месторождений с применением ПДС ежегодно добывается дополнительно более 300 тыс. т нефти [6].

На протяжении многих лет ПОТ эффективно применяются в США, например применение полимерных составов являлось основной технологией в группе химических методов, и до середины 1980-х гг. отмечался рост объемов внедрения, однако в 2000-х гг. произошло резкое снижение применения ПОТ в связи с падением цен на нефть.

Разработкой составов с применением силикатов для гидроизоляции нефтяных пластов (гелеобразующие составы) занимаются такие зарубежные фирмы, как:

- Техасо Inc.;
- Union Oil Company;
- Conaso Inc. и др.

Также за рубежом успешно применяются составы на основе силикагелей, разработанные компаниями «Haliburton», «Амосо» и «Standard» (составы показали высокую эффективность в технологиях увеличения нефтеотдачи пластов и ограничения водопритока в добывающих скважинах) [7].

Одним из перспективных направлений развития исследований по разработке потокоотклоняющих технологий является использование биополимеров, например состав с биополимерами на основе ксантана. Впервые такой состав для увеличения нефтеотдачи пластов был внедрен на месторождениях Северного моря в 1980-х гг.

Основными производителями ксантановых полимеров являются фирмы:

- «Статойл» (Норвегия).
- «Рон Пуленк (Франция).
- «Келко Мерк» (США) [3].

Наибольшую известность в нашей стране получили технологии увеличения нефтеотдачи с применением биополимеров «Продукт БП-92» и «Симусан». Промысловые испытания биополимера – «Симусана» были начаты в 1987 г. на Арланском месторождении. За 1987–1990 гг. обработаны 53 нагнетательные скважины, удельный технологический эффект составил 400–800 т на одну тонну реагента. Из-за отсутствия биополимера промышленное внедрение было прекращено [2].

На месторождениях Казахстана для решения проблем, поставленных перед нефтедобывающими компаниями, применялись технологии закачки полимердисперсных составов (ПДС) и полимергелевых составов (ПГС) в качестве активных добавок при заводнении. Данные методы впервые из стран СНГ были реализованы в России на ряде месторождений Западной Сибири. Первые результаты внедрения новых технологий повышения нефтеотдачи пластов в Казахстане относятся к 1981–2002 гг. (Каламкас, Карамандыбас, Узнь). В 2005 г. аналогичные технологии были использованы на месторождениях Терен-Озек и Северный Жолдыбай.

В 2005 г. на месторождении Жанажол, расположенном в восточной части Прикаспийской впадины, продуктивные пласты которого представлены карбонатными коллекторами, также впервые была применена потокоотклоняющая технология шитых полимерных систем (СПС). Здесь был применен полиакриламид (ПАА ДП 9-8177) и шиватель (ацетат хрома), а также вода (пресная). Стоит отметить тот факт, что на Жанажол по просьбе разрабатывающей компании аналогичные методы были опробованы для условий, когда отработка месторождения еще не достигла своего завершения. Результаты оказались достаточно хорошими.

Таким образом, применение физико-химического заводнения продуктивных пластов на стадии падения объемов нефтеизвлечения из промысловых скважин позволило увеличить нефтеотдачу от 5–6 до 9–10 раз. Эффективность обработок составила 80% [7].

Критерии применимости

Основными критериями для подбора участков/скважин для проведения технологий ПОТ являются:

- вертикальная и площадная неоднородность пласта;
- неоднородный профиль приемистости по ПГИ;
- резкая динамика обводнения реагирующих добывающих скважин с характерным увеличением темпов обводненности выше средних значений по объекту.

Подбор технологии определяется также из дополнительных условий геолого-физической характеристики пласта и технологических показателей эксплуатации скважины/участка.

Критерием применимости технологий ПОТ является наличие минимум трех реагирующих добывающих скважин на одну нагнетательную. Реагирующие скважины определяются по результатам трассерных исследований либо по коэффициентам корреляции взаимовлияния скважин (косвенный способ).

Техническая пригодность нагнетательных скважин для применения технологии ОПР определяется наличием или отсутствием заколонных перетоков или непроизводительного ухода жидкости закачки из продуктивного разреза [4].

Основные геологические критерии применимости потокоотклоняющих технологий:

- проницаемость коллектора – от 0,05 до 0,5 мкм² (от 50 до 500 мД);
- температура пласта – не ниже 70 °С для термотропных составов;
- коэффициент расчлененности – не менее 1,4.

Указанный диапазон изменения проницаемости обуславливает значение приемистости нагнетательных скважин. При

проницаемости коллектора менее 0,05 мкм² приемистость нагнетательных скважин низкая и процесс закачки происходит при высоких устьевых давлениях. Проницаемость ниже 0,05 мкм² снижает приемистость нагнетательной скважины на 10–20%. Верхняя граница применимости технологий ПОТ по проницаемости обусловлена имеющейся линейкой применяемых технологий. Так, при высокой проницаемости приемистость нагнетательных скважин может составлять 700 м³/сут и более, что требует применения различных модификаций технологий с крупно- и мелкофракционными наполнителями.

Расчлененность пласта и коэффициент вариации проницаемости должны рассматриваться в комплексе, необходимо определить наличие недренлируемых или слабодренируемых прослоев в разрезе нагнетательной скважины. Если ее разрез представлен равномерным чередованием прослоев с малым разбросом коэффициента проницаемости, то эффективность ПОТ в такой скважине будет существенно ниже, чем в скважине с наличием неработающих интервалов либо прослоев [4]. Рассмотрим более подробно области применения и основные свойства отдельных технологий:

- сшитые полимерные составы (табл. 1);
- силикат-гелевые составы (табл. 2);
- эмульсионные составы (табл. 3).

По данным табл. 1–3 можно отметить, что все три технологии применимы как для терригенных, так и для карбонатных коллекторов (поровых и порово-трещиноватых).

Примером месторождения, где используются в процессе разработки ПОТ на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, является Назаргалеевское месторождение [5].

Таблица 1

Основные свойства и область применения сшитых полимерных составов

Область применения:	– терригенные и карбонатные коллекторы (ТК и КК); – коллектор поровый, трещиновато-поровый; – коэффициент расчлененности, более 2; – проницаемость для ТК не менее 0,1 мкм ² , для КК не менее 0,05 мкм ² ; – температура в зоне закачки не более 90 °С
Основные свойства:	– регулирование времени гелеобразования в диапазоне от нескольких часов до 10 суток; – способность проникать вглубь пласта на значительные расстояния и создавать обширные экраны для перераспределения гидродинамических сопротивлений; – высокая селективность фильтрации

Таблица 2

Основные свойства и область применения силикат-гелевых составов

Область применения:	– терригенные и карбонатные коллекторы, разрабатываемые заводнением; – коллектор поровый, трещиновато-поровый; – проницаемость для ТК не менее 0,08 мкм ² , для КК не менее 0,05 мкм ² ; – температура в зоне закачки не более 300 °С
Основные свойства:	– растворы не подвержены механической, термоокислительной и биологической деструкции; – низкие гидродинамические сопротивления при закачке и высокая селективность фильтрации; – высокая термостабильность

Таблица 3

Основные свойства и область применения эмульсионных составов

Область применения:	– терригенные и карбонатные коллекторы (ТК и КК); – коллектор поровый, трещиновато-поровый; – проницаемость не менее 0,05 мкм ² ; – температура в зоне закачки до 90 °С
Основные свойства:	– низкие значения межфазного натяжения на границе с нефтью; – гидрофобизирующее воздействие на промытые водонасыщенные участки пласта коллоидно-дисперсными частицами АСПК; – остаточный фактор сопротивления; – высокая нефтewытесняющая способность

С целью увеличения охвата пласта вытеснением и вовлечения слабодренлируемых запасов нефти в разработку на объекте АС₁₁ за 2008–2012 гг. на нагнетательном фонде скважин проведено 182 скважино-операции по закачке оторочек химических реагентов с целью выравнивания профиля приемистости и фронта вытеснения. За счёт применения ПОТ дополнительно добыто 189 тыс. т нефти, при удельной эффективности 1036 т/скв.-опер. и средней продолжительности эффекта 507 сут [5].

Наибольший эффект удалось получить от закачки осадко-гелеобразующих (ОГС) и полимер-гелеобразующих (ПГС) составов, а наименьший – от закачки раствора избыточного ила.

Для определения причины успешного и безуспешного применения потокоотклоняющих технологий на объекте АС₁₁ Назарга-

леевского месторождения проведен сравнительный анализ применимости отдельных ПОТ и параметров объекта разработки. Для анализа были выделены следующие критерии: тип коллектора, коэффициент расчлененности, проницаемость пласта, температура в зоне закачки (табл. 4).

По результатам данного анализа можно отметить, что соответствие критериев применимости ПОТ параметром пласта стало причиной успешного проведения операций по закачке ОГС и ПГС в пласт АС₁₁ Назаргаеевского месторождения.

Причиной безуспешного применения раствора избыточного ила можно назвать то, что для достижения результата необходима стабильно высокая температура в зоне закачки в 54–60 °С, а температура в зоне закачки составила 70–77 °С. Недостатками этого раствора также являются сложность

Таблица 4

Сравнительная таблица критериев применимости и параметров пласта

Параметры объекта АС ₁₁	Значение	Критерии применимости ПОТ		
		Осадко-гелеобразующий состав (ОГС)	Полимерный гелеобразующий состав (ПГС)	Раствор избыточного ила
Тип коллектора	терригенный	терригенный	терригенный	терригенный
Коэффициент расчлененности, доли ед.	4,1	–	более 2	–
Проницаемость, мкм ²	0,107	не менее 0,08	не менее 0,1	не менее 0,1
Температура в зоне закачки, °С	70–77	не более 300	не более 90	стабильная температура 54–60

приготовления и использования состава, так как бактерии, участвующие в реакции, являются анаэробами и требуют строго анаэробных условий для их развития.

В связи с этим допустимо в дальнейшем применять ОГС и ПГС при эксплуатации не только объекта АС₁₁ Назаргалеевского месторождения, но при эксплуатации объектов с подобными геологическими характеристиками.

Список литературы

1. Алтунина Л.К. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 166.
2. Власов С.А., Краснопевцева Н.В., Каган Я.М. Повышение нефтеотдачи с применением биополимеров // Нефтяное хозяйство – 2002. – № 7. – С. 104–109.
3. Гамзатов С.М., Власов С.А., Булавин В.Д. Эффективные технологии производства биополимеров в промышленных условиях и воздействия ими на пласты // Нефтяное хозяйство. – 1998. – № 1. – С. 45–46.
4. Гималетдинов Р.А., Сидоренко В.В., Фахреддинов Р.Н., Бобылев О.А., Якименко Г.Х., Павлишин Р.Л. Критерии эффективного применения технологий выравнивания профиля приемистости пласта в условиях разработки месторождений ОАО «Газпром нефть» // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 5. – С. 78–83.
5. Дополнение к технологической схеме разработки Назаргалеевского месторождения, Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», 2007.
6. Лобанов Ф.И. Получение акриловых полимеров с заданными свойствами для повышения эффективности разработки нефтяных месторождений / Ф.И. Лобанов, В.В. Минибаяев // Интервал. – 2006. – № 6.
7. Нурпеисов Н.Н., Мухамеджанов М.А. Потокотклоняющие технологии заводнения пластов на нефтяных месторождениях Западного Казахстана / Н.Н. Нурпеисов,

М.А. Мухамеджанов // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2008. – № 4. – С. 58–63.

8. Обоснование и исследование потокотклоняющих технологий для повышения нефтеотдачи на месторождениях Ирака: автореф. дис.: 25.00.17 / Мохаммед Мохаммед Абдул Раззак; РГУНГ им. Губкина. – М., 2005. – 24 с.

References

1. Altunina L.K. Metody i tekhnologii povysheniya nefteotdachi dlya kollektorov Zapadnoy Sibiri: Uchebnoye posobiye. Tomsk: Izd-vo TPU. 2006.pp. 166.
2. Vlasov S.A., Krasnopevtseva N.V., Kagan Ya.M. Povysheniye nefteotdachi s primeneniyyem biopolimerov // Neftyanoye khozyaystvo 2002. no. 7. pp. 104–109.
3. Gamzatov S.M., Vlasov S.A., Bulavin V.D. Effektivnyye tekhnologii proizvodstva biopolimerov v promyslovykh usloviyakh i vozdeystviya imi na plasty // Neftyanoye khozyaystvo. 1998. no. 1. pp. 45–46.
4. Gimaletdinov R.A., Sidorenko V.V., Fakhredtinov R.N., Bobilev O.A., Yakimenko G.Kh., Pavlishin R.L. Kriterii effektivnogo primeneniya tekhnologiy vyravnivaniya profilya priyemistosti plasta v usloviyakh razrabotki mestorozhdeniy ОАО «Gazprom нефть» // Neftyanoye khozyaystvo. 2015. no. 5. pp. 78–83.
5. Dopolneniye k tekhnologicheskoy skheme razrabotki Nazargaleyevskogo mestorozhdeniya. Tyumenskoye otdeleniye «SurgutNIPIneft». 2007.
6. Lobanov F.I. Polucheniye akrilovykh polimerov s zadannymi svoystvami dlya povysheniya effektivnosti razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy / F.I. Lobanov. V.V. Minibayev // Interval. 2006. no. 6.
7. Nurpeisov N.N., Mukhamedzhanov M.A. Potokootklonyayushchiye tekhnologii zavodneniya plastov na neftyanykh mestorozhdeniyakh Zapadnogo Kazakhskatana / N.N. Nurpeisov. M.A. Mukhamedzhanov // Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya. 2008. no. 4. pp. 58–63.
8. Obosnovaniye i issledovaniye potokootklonyayushchikh tekhnologiy dlya povysheniya nefteotdachi na mestorozhdeniyakh Iraka: avtoref.dis.: 25.00.17 / Mokhammed Mokhammed Abdul Razzak; RGUNG im. Gubkina. Moskva. 2005. 24 p.