

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕРМОАКТИВНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ ДЛЯ ГЛУБИННОГО ВЫРАВНИВАНИЯ ПРОФИЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ

Я.А. Лятифов

SOCAR, Баку, Азербайджан

Non-stationary effect of thermoactive polymer composition for deep leveling of filtration profile

Y.A. Latifov

SOCAR, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

A new technology has been developed to stimulate a reservoir making use of a thermoactive polymer composition. The cyclic injection of the reagent allows you to change the direction, speed of flow, create non-stationary waveform pressure. Under the influence of shifts of positive and negative pressure drops in the formation occurs redistribution of formation fluids, reduction of capillary pressures and the presence of a working agent in oil-saturated low-permeability zone. It has been experimentally established that with a non-stationary effect of the proposed composition, the filtration profile is levelled due to the deep penetration of the composition into the formation and an increase in the residual resistance factor of high water cut zones. Experimentally determined growth coefficient of displacement for stratified heterogeneous formation with overflows reaches 19.5 %.

e-mail: yashar.latifov@socar.az

<https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20210100003>

KEYWORDS

Thermoactive polymer composition;
non-stationary action;
flow, capillary pressure;
water cut zones.

Снижение добычи нефти из скважин месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, сопровождается увеличением обводненности продукции. В этих условиях задача выравнивания профиля фильтрации в результате изоляции обводнившихся интервалов пласта и доотмыв остаточной нефти приобретает первостепенное значение.

Большинство применяемых в настоящее время композиционных составов для блокирования обводнившихся зон пласта не отличаются высокой водоизолирующей способностью, устойчивостью при пластовых давлениях и температуре, значительной продолжительностью эффекта и низкой стоимостью. Исследования, направленные на разработку высокоэффективных способов повышения охвата пласта воздействием путем изменения направления потоков и увеличения коэффициента нефтеотдачи обводненного пласта, позволяют существенно повысить уровень нефтедобычи.

Приоритетными направлениями глубинного отклонения фильтрационных потоков являются

способы, основанные на применении осадкообразующих композиций, вязкоупругих и гелеобразующих систем, термоактивных полимерных композиций, полимерно-дисперсных и коллоидно-дисперсных систем, микрогелей и наногелей, а также биополимеров. Применение данных технологий способствует созданию прочных барьеров при фильтрации воды, в частности они, находят свое отражение на поздней стадии разработки [1, 2].

Одной из новейших технологий выравнивания профиля фильтрации является проникновение в глубинные зоны пласта термогелевых полимеров (THR-Thermogels). Полимеры превращаются в гель, достигая критической температуры, температура гелеобразования варьирует в пределах 25-85 °С [3, 4]. Разновидностью технологии THR является технология BrightWater (BW). [5-7]. В результате применения данного метода увеличивается нефтеотдача и уменьшается обводненность продукции. Частицы BW в пластовых условиях увеличиваются в несколько раз по сравнению с первоначальным объемом, закупоч-

ривают высокопроницаемые каналы и перенаправляют закачанную воду в еще неохваченные разработки зоны. Подобная трансформация профиля фильтрации в пласте обеспечивает поступление в добывающую скважину дополнительных углеводородных потоков.

Преимуществами использования технологии BW являются:

- Блокирование водяного потока в зонах высокой проницаемости;
- Экономия на добыче попутной с нефтью воды;
- Рост добычи нефти на 10 %;
- Возможность осуществления процесса с помощью традиционного скважинного оборудования для нагнетания химических реагентов, а также имеющихся систем для закачки воды;
- Растворимость в воде;
- Безопасность для нефтенасыщенного коллектора и окружающей среды;
- Отсутствие необходимости остановки производства.

Закачка BW - как одного из усовершенствованных методов полимерного заводнения предназначена для регулирования охвата пласта вытеснением. Возможность применения технологии зависит от следующих факторов [6]:

1. Наличия трещин в пласте;
2. Обводненности продукции (<98 %);
3. Пластовой температуры (выше 35 °C);
4. Наличия обводнившейся зоны.

Применение данной технологии, разработанной индустриальным консорциумом BP, Chevron Техасо и Nalco, началось с 1997 года. BW является относительно устойчивым при pH 7-8.5, различной минерализации воды, температуре до 95 °C. С увеличением температуры обратимые сшиватели распадаются вследствие гидролиза. В результате их частицы набухают, блокируя поровые каналы. Происходит изменение размеров частиц кросслинкеров от 0.1-1 микрон, в диаметре до 1-10 микрон под действием высокой температуры.

Первая попытка закачки BW была проведена на месторождении Minas в 2001 году, которая была не совсем удачной. Первая попытка на морском месторождении осуществлена в 2002-ом году в США (Северное море).

Коротко о механизме действия технологии BW:

Рабочий агент, применяемый в BW, состоит из нефтерастворимого термоактивного полимера, который становится активным при заводнении пластов с неоднородным распределением температурного поля. Рабочий агент поступает в

продуктивный пласт вместе с инвертированным ПАВ (дисперсант), смешанным в закачиваемой воде. Это генерирует незначительное увеличение вязкости раствора. Спустя время, после закачки водного раствора в пласт, частицы полимера под влиянием температуры расширяются, увеличивая первоначальный объем в 10 раз. В результате закачиваемая вода перенаправляется в неохваченные воздействием зоны. Если эти зоны богаты нефтью, увеличение охвата продуктивных скважин и изменение профиля движения воды в пласте ведет к получению добавочной нефти и увеличению нефтедобычи. Для каждого диапазона пластовой температуры и минерализации пластовой воды, предназначена своя модификация BW [8].

Таким образом, применение технологии BW ограничивает движение потока воды в высокопроницаемых зонах, снижает добычу воды на обводненных участках, улучшает нефтевытеснение и повышает конечный коэффициент нефтедобычи. Технологический процесс легко реализовать, так как для закачки химических агентов используется стандартное оборудование и существующая система нагнетания. Использование раствора на водяной основе не требует остановки скважин.

Использование большинства полимеров эффективно в однородной пористой среде, где нет перетоков. Как известно, перетоки жидкости в слоисто-неоднородном пласте из одного слоя в другой происходят в связи с наличием гидродинамической связи между ними. При наличии перетоков, активизация полимерного раствора в близкой окрестности скважины создает различные перепады давления между пропластками и стволом скважины. В результате этого, пластовая жидкость способна обогнуть образовавшееся полимерное препятствие, выбрав для движения путь с наименьшим сопротивлением. В зависимости от соотношения давления между пропластками, перетоки жидкости могут происходить из нижних пропластков в верхние, или наоборот.

Наличие перетоков жидкости между слоями снижает эффективность полимерного воздействия, даже несмотря на то, что для приготовления композиций, как правило, задействованы дорогостоящие мономеры или производственные процессы. Все это сильно ограничивает выбор жизнеспособных технологий.

Для ограничения водопритока к скважинам и повышения добычи нефти в слоисто-неоднородных пластах, предпочтительно применение технологически более эффективного подхода к

воздействию на пласты. В данном случае использование маловязкой нефтерастворимой жидкости, способной продвигаться глубоко в пласт и переформироваться в высоковязкую фазу, блокирующую движение пластовой воды, как можно дальше от ствола скважины, является решением поставленной задачи. В данной системе, в зависимости от концентрации входящих в состав реагентов, применяемых для снижения водопроницаемости пластовой среды, основная часть закачиваемого агента используется для создания продолжительного эффекта. Выше перечисленные свойства присущи технологиям воздействия на пласт, основанным на использовании термоактивных полимеров.

Для увеличения охвата пласта воздействием, выравнивания фронта продвижения рабочего агента и увеличения нефтеотдачи пласта за счет привлечения к разработке низкопроницаемых нефтенасыщенных участков закачку термоактивной полимерной композиции следует проводить циклически. Этот способ позволяет изменять направление, скорости потока, создавать нестационарные волнообразные давления. Под влиянием смены положительных и отрицательных перепадов давления в пласте происходит перераспределение пластовых флюидов, уменьшение

капиллярных давлений и поступление рабочего агента в нефтенасыщенные малопроницаемые зоны.

На линейных моделях были проведены лабораторные исследования по определению фактора остаточного сопротивления и вытеснения остаточной нефти с помощью композиционной смеси, состоящей из рабочего агента, дисперсанта и морской воды. Исследования проводились с пластовыми флюидами месторождения «Нефт Дашлары». Результаты показали, что для пластовых условий исследуемого горизонта наиболее подходящей добавкой к закачиваемой воде является композиция в следующем соотношении: рабочий агент 0.5 %, дисперсант -1/3 от его объема.

На экспериментальной установке (рис.1), включающей две параллельно соединенные модели пористой среды, одна из которых представляла собой модель высокопроницаемой пористой среды, а другая – низкопроницаемой, изучали влияние нестационарной закачки предложенной термоактивной полимерной композиции на фактор остаточного сопротивления. Длина моделей пористой среды составляла 1.2 метра, а диаметр 0.038 м.

Модели насыщали пластовой водой и определяли проницаемости по воде. Соотношение про-

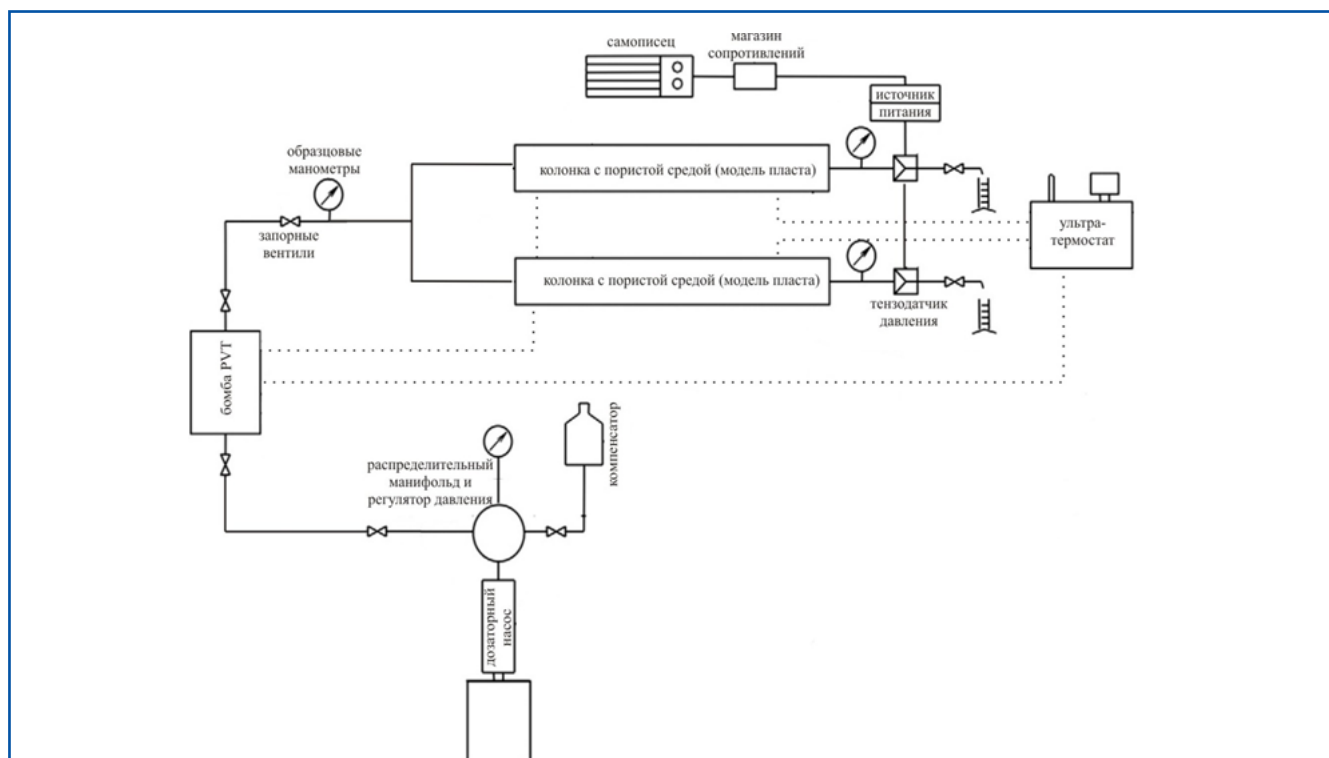


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с двумя параллельно соединенными моделями пласта

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований с использованием композиционной системы

№ опыта	Начальная проницаемость моделей, K_v , мкм ²		Закачка термоактивных полимеров Начальная проницаемость моделей, K_v , мкм ²	Конечная проницаемость моделей, K_2 , мкм ²		Фактор остаточного сопротивления		Соотношение проницаемостей высокопроницаемой и низкопроницаемой моделей после воздействия
	высокопроницаемой	низкопроницаемой		высокопроницаемой	низкопроницаемой	высокопроницаемой	низкопроницаемой	
1	11.36	1.42	Композиционная система (30%)	6.23	1.26	1.82	1.13	4.94
2	12.32	1.54	Композиционная система (10%) – I цикл	7.62	1.50	1.62	1.03	5.08
3			Композиционная система (10%) – II цикл	5.40	1.44	2.28	1.07	3.75
4			Композиционная система (10%) – III цикл	3.21	1.39	3.84	1.11	2.31

ницаемостей высокопроницаемой и низкопроницаемой пористых сред составляло 8:1. Далее закачивали композиционную смесь и морскую воду в три цикла. Эксперименты проводились при температуре 50 °С. Вязкость композиционной системы при температуре 50 °С составляла 2.16 мПа·с.

Первую порцию композиционной смеси, состоящей из рабочего агента 0.5%, дисперсанта -1/3 от его объема и морской воды, в количестве 10 % от объема пор, закачивали в модели при перепаде давления 0.2 МПа, затем модели закрывали на сутки. После завершения времени выдержки через модель прокачивали морскую воду и после установления режима фильтрации определяли проницаемости. При этом проницаемость высокопроницаемой модели уменьшилась, а фактор остаточного сопротивления соста-

вил 1.62. Проницаемость низкопроницаемой модели изменилась незначительно.

В следующем цикле перепад давления увеличили до 0.3 МПа и производили закачку рабочего агента в том же объеме и той же последовательности. После выдержки моделей в течение суток в закрытом состоянии вновь определялись проницаемости пористой среды по воде. Результаты приводятся в таблице 1.

Последнюю порцию композиционной смеси закачали при перепаде давления 0.4 МПа, в количестве 10% от объема пор модели. После этого модели вновь закрывают с обоих концов на сутки, а затем определяют проницаемости по воде.

Как видно из результатов экспериментов, применение композиционного состава в лабораторных условиях позволило снизить проницаемость высокопроницаемой модели в несколько раз,

Таблица 2

Определение коэффициента вытеснения после закачки композиционной системы

№ опыта	Степень извлечения нефти до закачки реагентов, д.ед	Закачка термоактивных полимеров	Степень извлечения нефти после закачки реагентов, д. ед.	Прирост коэффициента вытеснения, %
1	0.56	Композиционная система (30 %)	0.731	15.1
2	0.55	Композиционная система (10 %) – I цикл	0.682	13.2
		Композиционная система (10 %) – II цикл	0.734	18.4
		Композиционная система (10 %) – III цикл	0.745	19.5

соотношение проницаемостей моделей снизилось до 2.31. Это свидетельствует о значительном выравнивании профиля фильтрации при циклическом воздействии композиционной смеси. Для сравнения проводилась закачка в модели 30 % композиционной смеси в один прием (опыт №1). В этом случае эффективность процесса значительно ниже, а соотношение проницаемостей составило 4.94.

На следующем этапе моделировали слоисто-неоднородную пористую среду и исследовали процесс вытеснения нефти. Выбор слоисто-неоднородной модели с наличием проницаемых контактирующих слоев продиктован необходимостью принятия во внимание перетоков между прослойками внутри модели пористой среды.

Пористая среда состояла из кварцевого песка различных фракций. Модель насыщалась пластовой водой при постоянном перепаде давления 0.025 МПа. Эксперименты проводились при температуре 50 °С. Затем вода из пористой среды вытеснялась ньютоновской нефтью. Процесс воздействия проводили, как и в предыдущем исследовании.

В результате перераспределения давлений в пористой среде, между слоями возникают значительные перепады давления. При этом скорость распространения давления в малопроницаемом слое намного ниже и, соответственно, происходит увеличение капиллярной пропитки этого слоя. В результате этого процесса увеличивается охват малопроницаемого слоя воздействием. По завершении времени выдержки через модель продолжают прокачивать воду и определяют объем дополнительно полученной нефти. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, в результате нестационарной закачки композиционной смеси прирост коэффициента нефтеотдачи составил 19.5 %. Для сравнения в первом экспериментальном исследовании композиционная смесь закачивалась в один цикл при постоянном перепаде давления. При этом дополнительно было получено 15.1 % нефти.

Таким образом, нестационарная закачка композиционной системы способствует выравниванию профиля фильтрации и значительному доотмыву остаточной нефти.

Литература

1. Pritchett, J., Pacific, C., Frampton, H., et al. (2003, October). Field application of a new in-depth waterflood conformance improvement tool. SPE-84897-MS. Presented at the *SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia*.
2. Bai, B., Huang, F., Liu, Y., et al. (2008, April). Case study on preformed particle gel for in-depth fluid diversion. SPE-113997-MS. Presented at the *SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.*
3. Castro, R. H., Maya, G. A., Sandoval, J., et al. (2013, July). Colloidal dispersion gels (CDG) in Dina Cretaceous field: From pilot design to field implementation and performance. SPE-165273-MS. Presented at the *SPE Enhanced Oil Recovery Conference, Kuala Lumpur, Malaysia*.
4. Al-Maamari, R. S., Al-Hashami, A. R., Al-Sharji, H. H., et al. (2015, August). Development of thermo-gels for in depth conformance control. SPE-174640-MS. Presented at the *SPE Asia Pacific Enhanced Oil Recovery Conference, Kuala Lumpur, Malaysia*.
5. Ghaddab, F., Kaddour, K., Tesconi, M., et al. (2010, June). El Borma - bright water - tertiary method of enhanced oil recovery for a mature field. SPE-136140-MS. Presented at the *SPE Production and Operations Conference and Exhibition, Tunis, Tunisia*.
6. Thrasher, D. (2010). Application of bright water technology. England: BP. https://iea-eor.ptrc.ca/assets/B5_Slides.pdf.
7. Frampton, H., Denyer, P., Ohms, D.H., et al. (2009,

References

1. Pritchett, J., Pacific, C., Frampton, H., et al. (2003, October). Field application of a new in-depth waterflood conformance improvement tool. SPE-84897-MS. Presented at the *SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia*.
2. Bai, B., Huang, F., Liu, Y., et al. (2008, April). Case study on preformed particle gel for in-depth fluid diversion. SPE-113997-MS. Presented at the *SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.*
3. Castro, R. H., Maya, G. A., Sandoval, J., et al. (2013, July). Colloidal dispersion gels (CDG) in Dina Cretaceous field: From pilot design to field implementation and performance. SPE-165273-MS. Presented at the *SPE Enhanced Oil Recovery Conference, Kuala Lumpur, Malaysia*.
4. Al-Maamari, R. S., Al-Hashami, A. R., Al-Sharji, H. H., et al. (2015, August). Development of thermo-gels for in depth conformance control. SPE-174640-MS. Presented at the *SPE Asia Pacific Enhanced Oil Recovery Conference, Kuala Lumpur, Malaysia*.
5. Ghaddab, F., Kaddour, K., Tesconi, M., et al. (2010, June). El Borma - bright water - tertiary method of enhanced oil recovery for a mature field. SPE-136140-MS. Presented at the *SPE Production and Operations Conference and Exhibition, Tunis, Tunisia*.
6. Thrasher, D. (2010). Application of bright water technology. England: BP. https://iea-eor.ptrc.ca/assets/B5_Slides.pdf.
7. Frampton, H., Denyer, P., Ohms, D.H., et al. (2009,

April). Bright Water' sweep improvement from the lab to the field. Presented at the *15th European Symposium on Improved Oil Recovery, Paris, France*.

8. Сулейманов, Б.А., Лятифов, Я.А., Ибрагимов, Х.М., Гусейнова, Н. И. (2017). О результатах промысловых испытаний технологии повышения нефтеотдачи пласта на основе применения термоактивной полимерной композиции. *SOCAR Proceedings*, 3, 17-31

April). Bright Water' sweep improvement from the lab to the field. Presented at the *15th European Symposium on Improved Oil Recovery, Paris, France*.

8. Suleimanov, B. A., Latifov, Ya. A., Ibrahimov, Kh. M., Guseinova, N. I. (2017). Field testing results of enhanced oil recovery technologies using thermoactive polymer compositions. *SOCAR Proceedings*, 3, 17-31.

Нестационарное воздействие термоактивной полимерной композицией для глубинного выравнивания профиля фильтрации

Я.А. Лятифов

SOCAR, Баку, Азербайджан

Реферат

Разработана технология воздействия на нефтяную залежь с использованием термоактивной полимерной композиции. Циклическая закачка реагента позволяет изменять направление, скорости потока, создавать нестационарные волнообразные давления. Под влиянием смены положительных и отрицательных перепадов давления в пласте происходит перераспределение пластовых флюидов, уменьшение капиллярных давлений и поступление рабочего агента в нефтенасыщенные малопроницаемые зоны. Экспериментально установлено, что при нестационарном воздействии предложенной композицией происходит выравнивание профиля фильтрации за счет глубинного проникновения композиции в пласт и увеличения фактора остаточного сопротивления высокообводненных зон. Экспериментально определенный прирост коэффициента вытеснения для слоисто-неоднородных пластов с наличием перетоков достигает 19.5 %.

Ключевые слова: термоактивная полимерная композиция; нестационарное воздействие; поток; капиллярное давление; обводненные зоны.

Süzülmə profilinin dərinlikdə hamarlaşdırılması üçün termoaktiv polimer kompozisiya ilə qeyri-stasionar təsir

Y.A. Lətifov

SOCAR, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Neft yataqlarına termoaktiv polimer kompozisiyasının istifadəsi ilə təsir texnologiyası işlənmişdir. Reaktivin dövrü vurulması axın istiqamətini, sürətini dəyişdirməyə, qeyri-stasionar dalğavari təzyiqlər yaratmağa imkan verir. Müsbət və mənfi təzyiq enmələrinin əvəzlənməsinin təsiri altında layda lay sularının yerdəyişmələri, kapilyar təzyiqlərin azalması və işçi agentin neftlə doymuş aşağı keçiricilikli zonalara nüfuz etməsi baş verir. Təklif olunan kompozisiya ilə qeyri-stasionar təsir zamanı kompozisiyanın laya dərindən nüfuz etməsi və yüksək sulaşmış zonaların qalıq müqavimət əmsalının artması hesabına süzülmə profilinin hamarlanması eksperimentlər vasitəsilə müəyyən edilmişdir. Axınlar olan təbəqəli qeyri-bircins laylar üçün sıxışdırma əmsalının eksperimental olaraq müəyyən edilmiş artımı 19.5 % təşkil edir.

Açar sözlər: termoaktiv polimer kompozisiya; qeyri-stasionar təsir; axın; kapilyar təzyiq; sulaşmış zonalar.