

Фильтрационные исследования полимерного раствора, применяемого в потокоотклоняющих технологиях на месторождениях Казахстана

А.С. Стреков, д.т.н.¹,

Б.Н. Койлыбаев²

¹Институт нефти и газа,

²Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова

e-mail: a.s.strekov@mail.ru

Ключевые слова: потокоотклоняющая технология, слоисто-неоднородный пласт, полимерная композиция, фактор остаточного сопротивления.

DOI.10.37474/0365-8554/2020-3-27-30

Qazaxıstanın neft yataqlarında axın təcridedicı texnologiyalarda tətbiq edilən polimer məhlulun filtrasiya tədqiqi

A.S. Strekov, t.e.d.¹, B.N. Koilybayev²

¹Neft və Qaz İnstitutu,

²Ş. Yesenov adına Xəzər Dövlət Texnologiyalar və İnjinirinq Universiteti

Açar sözlər: axıntəcridedicı texnologiya, təbəqəli qeyri-bircins lay, polimer kompozisiya, qalıq müqavimət faktorı.

Məqalədə, axıntəcridedicı texnologiyalarda tətbiq edilən, A markalı xrom-asetat calayıcısı və FP-307 markalı PAA polimer məhlul əsaslı Calanmış Polimer Sistemlərin (CPS) filtrasiya xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi üzrə laboratoriya təcrübələrinin nəticələri verilib.

CPS filtrasiya xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi üzrə tədqiqatlar müxtəlif keçiricilikli laycılara malik ikilaylı xətti lay modeli üzərində aparılıb.

Alınan nəticələr göstərir ki, layın qeyri-bircinsliyi səviyyəsi nə qədər yüksəkdirsə (yüksəkkeçiricilikli və aşağıkeçiricilikli laycılarının keçiriciliyi nisbəti), yüksəkkeçiricilikli laycılara daxil olan CPS miqdarı o qədər çoxdur. Yüksəkkeçiricilikli laycılarda axıntəcridedicı ekranın yaranması nəticəsində filtrasiya axınlarının istiqamətini nizamlamaq və aşağıkeçiricilikli laycılarını da qoşmaq imkanı yaranır.

Filtration studies of polymer solution applied in flow deviation technologies in Kazakhstan fields

A.S. Strekov, Dr. in Tech. Sc.¹, B.N. Koilybayev²

¹Institute of Oil and Gas,

²Caspian State University of Technologies and Engineering named after Sh. Yesenov

Keywords: flow deviation technology, embedded-inhomogeneous formation, polymer composition, residual resistance factor.

The paper deals with the results of laboratory experiments on filtration characteristics of cross-linked polymer systems (CPS) based on the "FP-307" PAA polymer solution and A grade crosslinker of acetate-chrome applied in flow deviation technologies.

The studies on the estimation of CPS filtration characteristics have been carried out on the linear two-layer formation model with different interlayer permeability.

Obtained results justified that the higher is formation homogeneity (permeability ratio of high permeability and low permeability interlayers), the more CPS enter into the high permeability interlayer. As a result of formation of flow deviation screen in high permeability interlayers, a regulation possibility of filtration flows direction and logging into the operation of low-permeable interlayers appears.

Введение

Одной из наиболее важных проблем увеличения нефтеотдачи пластов является ограничение течения вод в обводненных пластах и зонах. В последние годы для устранения негативных последствий прорыва вод по высокопроницаемым пропласткам неоднородного пласта применяют потокоотклоняющие технологии (ПОТ) [1–5]. За счет выравнивания профиля приемистости (ВПП) нагнетательных скважин ПОТ позволяют увеличить объемный охват продуктивных пластов, сократить объем добываемой попутной воды, получить дополнительную добычу нефти. Благодаря применению ПОТ ежегодно в мире добывается 15–20 млн. т нефти [2].

Многие из ПОТ основаны на закачке в нагнетательные скважины составов, образующих в пластовых условиях водоизолирующий экран, блокирующий наиболее проницаемые зоны. В результате чего происходит перераспределение объема закачки воды как по толщине, так и по площади залежи и подключение к разработке ранее неохваченных или малоохваченных заводнением зон пласта

Одним из решений задачи ВПП нагнетательных скважин является метод закачки в обводненные пропластки полимерных композиций на основе сшитых полимерных составов (СПС) и древесной муки. Основные компоненты этой системы – полимеры с флокулирующими свойствами и дисперсные частицы древесной муки. Путем выбора концентрации полимера и древесной муки создаются условия для полного связывания полимера (флокуля-

ции), в итоге образуются полимердисперсные комплексы с древесной мукой с новыми физическими свойствами, устойчивыми к размыву потоком.

Постановка задачи

При закачке полимерной композиции в пласт механизм образования водоизолирующего экрана в пластовых условиях заключается в следующем: движущийся впереди полимерный раствор изменяет поверхность породы вследствие адсорбции и механического удержания макромолекул полимеров, частицы древесной муки и породы пласта, поступающие в виде суспензии вступают во взаимодействие с макромолекулами полимера, адсорбированными на породе и находящимися во взвешенном состоянии. Наличие свободных сегментов макромолекул после первичной адсорбции обеспечивает прочную связь дисперсных частиц, образующихся полимердисперсных агрегатов с поверхностью пород, создавая тем самым объемный, устойчивый в потоке водоизолирующий экран.

Из представленного описания видно, что одну из главных ролей в механизме образования водоизолирующего экрана играет полимерный раствор. Поэтому в исследованиях основное внимание уделено движению СПС на основе полимерного раствора ПАА марки "FP-307" и сшивателя ацетата хрома в пористой среде. При воздействии на пласт водорастворимыми полимерами одним из показателей, по которому можно судить об изменении их фильтрационных характеристик является фактор остаточного сопротивления $R_{ост}$, т.е. способность водорастворимых полимеров при контакте с пористой средой в результате адсорбции и физической закупорки мелких пор снижать её проницаемость [6].

Поэтому знание фильтрационных характеристик полимерного раствора определит глубину проникновения его в пористую среду, особенно по пропласткам слоисто-неоднородного пласта, местоположение водоизолирующего экрана, а следовательно и эффективность ПОТ.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования по оценке фильтрационных характеристик СПС проводились на установке, состоящей из двух параллельно соединен-

ных линейных моделей пласта, поджимок для воды, баллона со сжатым воздухом, насоса-дозатора, манометров. Линейные модели пласта позволяют моделировать двухслойную модель пласта с гидродинамически несообщающимися пропластками. Для создания двухслойной модели пласта с пропластками различной проницаемости использовался кварцевый песок фракцией < 0.1 мм и его смесь с маршаллитом. Конструкция двухслойной модели пласта дает возможность производить закачку жидкости как совместно в высокопроницаемый k_1 и низкопроницаемый k_2 пропластки, так и в каждый пропласток в отдельности и её отбор из пропластков отдельно. Опыты проводились только в пористых водонасыщенных средах. Модели двухслойного пласта насыщались сточной пластовой водой, отобранной из месторождения Каражанбас. Используемая вода является соленой. Результаты её физико-химического анализа, содержащие данные по основному компонентному составу с рассчитанной суммарной минерализацией, типу воды по Сулину, плотности, концентрации ионов водорода даны ниже.

Показатели	Результаты
pH среда.....	6.3
Плотность, кг/м ³	1.019
Компонентный состав, мг/дм ³	
Кальций (Ca ²⁺).....	1102.2
Магний (Mg ²⁺).....	486.4
Суммы калия и натрия (Na ⁺ + K ⁺).....	8666.4
Хлориды (Cl ⁻).....	16377.9
Сульфаты, (SO ₄ ²⁻).....	27.2
Карбонаты, (CO ₃ ²⁻).....	не обнаружено
Гидрокарбонаты, (HCO ₃ ⁻).....	361.2
Суммарная минерализация, мг/дм ³	27221.3
Тип воды по Сулину.....	Cl-Ca
Общая жесткость воды.....	95.0

Параметры модели слоисто-неоднородного пласта с гидродинамически несообщающимися пропластками приведены в таблице. Выбор проницаемостей в экспериментах основывается на реальных фактических данных по месторождению Каражанбас, где средняя проницаемость коллектора колеблется от 1 до 15 мкм² [7].

Затем в двухслойную модель закачивался один поровый объем, равный объему высокопроницаемого пропластка k_1 (120 см³), готового свежеподготовленного СПС (полимерный раствор ПАА марки "FP-307" (0.5 %), представляющего собой сополимер акриламида/акрилата натрия и сшиватель ацетат хрома

Пористая среда не обработана					Пористая среда обработана			
Проницаемость слоев, мкм ²		Расход воды по слоям, 10 ⁻⁶ м ³ /с	Проницаемость слоев, мкм ²		Расход воды по слоям, 10 ⁻⁶ м ³ /с			
Высокопроницаемый, k ₁	Низкопроницаемый, k ₂		Отношение проницаемостей, k ₁ /k ₂	Высокопроницаемый, k ₁	Низкопроницаемый, k ₂	Более проницаемый, k ₁	Менее проницаемый, k ₂	
9.25	3.46	2.67	0.213	0.079	0.1423	0.0804	0.0034	1.7125
9.36	2.38	3.93	0.215	0.054	0.1418	0.0595	0.0034	1.2673
9.14	0.74	12.35	0.21	0.017	0.1344	0.0211	0.0032	0.4494
9.43	0.49	19.24	0.216	0.011	0.1347	0.0163	0.0032	0.3471
9.27	0.35	26.48	0.211	0.008	0.1236	0.014	0.0029	0.2982

марки А (0.05 %). Раствор СПС готовился из сточной пластовой воды месторождения Каражанбас. Закачка СПС в оба пропластка проводилась при постоянном перепаде давления 0.03 КПа. Использование указанных химических реагентов основано на том, что в пласте в результате химической реакции образуется композиция раствора полимера со сшивателем (гелевый экран), создающая повышенные остаточные сопротивления в промытой зоне. После закачки СПС пласт выдерживался в покое 48 ч.

Физико-химические показатели полимера марки "FP-307" представлены ниже.

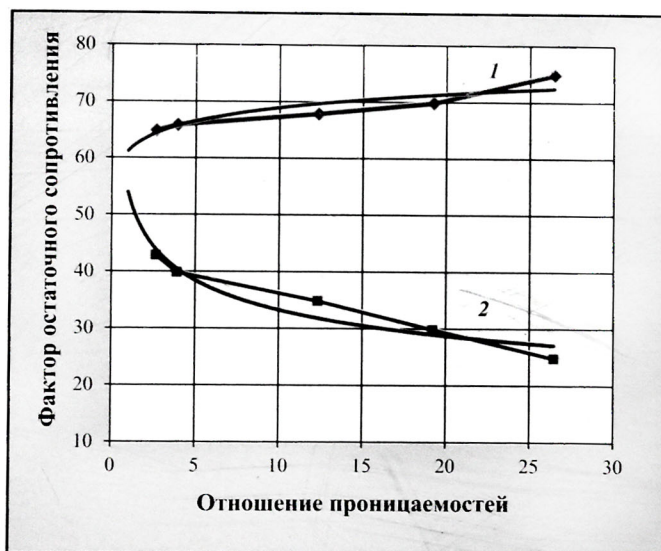
Наименование показателя	Фактический результат
Внешний вид.....	порошок белого цвета
Дисперсность (фракционный состав), %	
более 1 мм.....	0.56
менее 0.25 мм.....	9.88
Содержание основного вещества, %.....	93.53
Характеристическая вязкость, дл/г.....	18
Молекулярная масса, x10 ⁶ Дальтон.....	5.5
Степень гидролиза, % (моль).....	7.9
Нерастворимый осадок, %.....	0.72
Насыпная плотность, кг/м ³	3693.0

По окончании времени покоя одновременно в оба пропластка двухслойной модели закачивалась сточная пластовая вода при постоянном перепаде давления 0.03 КПа, которая вытесняла СПС до установления стационарного характера течения. Затем вновь определялась проницаемость k₁ и k₂ по воде. На основании полученных данных в каждом эксперименте для обоих пропластков двухслойного пласта

рассчитывался фактор остаточного сопротивления -R_{ост}.

Результаты фильтрационных экспериментов приведены на рисунке.

Как показали исследования фильтрационных характеристик СПС на основе полимерного раствора ПАА марки "FP-307" (0.5%) и сшивателя ацетата хрома марки А (0.05 %) она способна к блокированию высокопроницаемых и низко проницаемых пропластков. Для высокопроницаемых пропластков снижение проницаемости наблюдается в интервале 98.46–98.66 %, для низкопроницаемых же – в диапазоне 96–97.67% .



Зависимость фактора остаточного сопротивления от отношения проницаемостей пропластков при фильтрации сточной воды через слоисто-неоднородный пласт после закачки СПС:

1, 2– высокопроницаемый и низкопроницаемый пропластки

Для исследуемой СПС FP 307 + AX также отмечаются высокие факторы остаточных сопротивлений от 65 до 75 и 25 до 43 для высокопроницаемого и низкопроницаемого пропластков, соответственно, в зависимости от отношения проницаемостей k_1/k_2 (рисунок). Причем, как видно из рисунка, с увеличением отношения проницаемостей разница в значениях фактора остаточного сопротивления растет. При значении отношения проницаемостей 2.67 разница в значениях фактора остаточного сопротивления составляет – 22, а при значении 26.48–50.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования показали, что СПС на основе полимерного раствора ПАА марки "FP-307" и сши-

вателя ацетата хрома марки А способны к блокированию высокопроницаемых и низкопроницаемых пропластков. Полученные результаты также показали, что чем больше неоднородность пласта (отношение проницаемостей высокопроницаемого и низкопроницаемого пропластков), тем большее количество СПС поступает в высокопроницаемый пропласток. В результате образования в высокопроницаемых пропластках водоотклоняющего экрана создается возможность регулирования направления фильтрационных потоков и подключения к работе низкопроницаемых пропластков.

Полученные результаты показали возможность проведения опытно-промышленных испытаний ПОТ на основе полимерного раствора ПАА марки "FP-307" и сшивателя ацетата хрома.

Список литературы

1. Закиров С.Н. Анализ проблемы "Плотность сетки скважин – нефтеотдача". – М.: Грааль, 2002. 314 с.
2. Каширина К.О., Эпов И.Н. Обзор отечественного и зарубежного опыта применения потокоотклоняющих технологий // Научный форум Сибирь, 2016, т. 2, № 1, с.8-10.
3. Ступоченко В.Е., Соркин А.Я., Кан В.А., Дябин А.Г. и др. Применение потокорегулирующих технологий для повышения эффективности разработки высокообводненных пластов // Нефтяное хозяйство, 2005, № 11, с. 48-51.
4. Шелепов В.В. Новые технологии повышения нефтеотдачи в проектных документах ЦКР Роснедр по УВС // Бурение и нефть, 2011, № 11, с. 8-12.
5. Эпов И.Н., Зотова О.П. Потокоотклоняющие технологии как метод увеличения нефтеотдачи в России и за рубежом // Фундаментальные исследования, 2016, № 12, с.806-810.
6. Smith F.W. The behavior of partially hydrolyzelyacrylamide in porous media // Journal of Petroleum Technology, 1970, 11, v. 22, № 2, pp. 148-156.
7. Иванов В.А., Числов А.Д., Желтов Ю.В., Рыжик В.М., Ентов В.М., Бернадинер М.Г. Результаты опытной закачки полимерного раствора на месторождениях Казахстана // Нефтяное хозяйство, 1978, № 9, с. 37-38

References

1. Zakirov S.N. Analiz problemy "Plotnost' setki skvazhin – nefteotdacha". – M.: Graal', 2002, 314 s.
2. Kashirina K.O., Epov I.N. Obzor otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya potokootklonayushchikh tekhnologiy // Nauchniy forum Sibir', 2016, t. 2, No 1, s. 8-10.
3. Stupochenko V.E., Sorokin A.Ya., Kan V.A., Dyabin A.G. i dr. Primeneniye potokoreguliruyushchikh tekhnologiy dlya povysheniya effektivnosti razrabotki vysokoobvodnyonnykh plastov // Neftyanoe khozaistvo, 2005, No 11, s. 48-51.
4. Shelepov V.V. Novye tekhnologii povysheniya nefteotdachi v proektnykh dokumentakh TSKR Rosnedr po UVS // Burenie i nef't', 2011, No 11, s. 8-12.
5. Epov I.N. Zotova O.P. Potokootklonayushchie tekhnologii kak metod uvelicheniya nefteotdachi v Rossii i za rubezhom // Fundamental'nye issledovaniya, 2016, No 12, s. 806-810.
6. Smith F.W. The behavior of partially hydrolyzelyacrylamide in porous media // Journal of Petroleum Technology, 1970, 11, v. 22, No 2, pp. 148-156.
7. Ivanov V.A., Chislov A.D., Zheltov Yu.V., Ryzhik V.M., Yentov V.M., Bernadiner M.G. Rezul'taty opytnoi zakachki polimernogo rastvora na mestorozhdeniyakh Kazakstana // Neftyanoe khozaistvo, 1978, No 9, s. 37-38