

Из 100 проведенных прогонов программы, реализующей данный субоптимальный алгоритм, в 38 случаях решения полностью совпадают с оптимальными, полученными методом перестановок и полного перебора, в 15 случаях отличаются от оптимального на 10 %, в 20 случаях отличаются в пределах от 3 до 10 %. Величина стационарной частоты запросов $P(i, j)$ для любого сочетания ПК определялась как $P(i, j) = S(i, j) / K$, где K – трасса запросов к ПК, принятая равной $K = 1000000$, отметим также, что некоторые сочетания ПК были исключены из эксперимента.

Литература

1. Мочалов Д. В. Приближенный метод расчета процессно-ориентированных систем управления телекоммуникационными сетями и бизнесом оператора связи // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2012. № 3. С. 40–45.
2. Мочалов В. П. Информационная технология систем управления телекоммуникациями // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2005. № 4. С. 3–6.
3. Авен О. Н., Гурин Н. Н., Коган Я. А. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. М.: Наука, 1982. 464 с.
4. Братченко Н. Ю. Анализ методов прогнозирования параметров сложных технических систем // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2012. № 3. С. 40–45.

УДК 622.279.7

Перейма Алла Алексеевна

ОБ ОЦЕНКЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭМУЛЬСИОННЫХ СИСТЕМ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Эффективность применения эмульсионных систем блокирующих жидкостей с наполнителями при капитальном ремонте скважин зависит от их фильтрационных свойств, оказывающих значительное влияние на естественную проницаемость продуктивного пласта. В статье рассматриваются фильтрационные свойства эмульсионных систем, содержащих растительные наполнители.

Ключевые слова: продуктивный пласт, проницаемость, блокирующая жидкость, эмульсия, растительные наполнители, фильтрационные свойства.

Alla Pereima

ON ASSESSMENT OF FILTRATION INDICES IN EMULSION SYSTEMS WITH VEGETABLE TOPPINGS IN POROUS MEDIA

The efficacy of emulsion systems blocking fluids with fillers employed for well overhaul depends on the filtration properties that have a significant impact on the natural permeability of the productive layer.

The article focuses on the filtration properties of emulsion systems containing vegetable fillers.

Key words: productive layer, permeability, blocking liquid, emulsion, vegetable fillers, filtration properties

В настоящее время увеличивается количество месторождений, вступающих в завершающую стадию разработки, что сопровождается осложнениями при эксплуатации и капитальном ремонте скважин.

В условиях аномально низких пластовых давлений (АНПД), свойственных истощенным нефтяным и газовым месторождениям, процессы капитального ремонта скважин и интенсификации добычи крайне затруднены из-за сильных поглощений технологических жидкостей продуктивным пластом. Аналогичные условия присущи ПХГ, созданным на базе истощенных нефтегазовых месторождений.

Одним из основных требований качественного ремонта скважин является сохранение естественной проницаемости коллектора в прискважинной зоне. Однако промысловая практика показывает, что капитальный ремонт скважин почти повсеместно проводится с применением технологических жидкостей, параметры которых подбираются из условия предупреждения нефтегазового выброса без учета конкретных геологических условий, литолого-физических свойств коллектора и физико-химических характеристик насыщающих его флюидов. Опыт проведения ремонтных работ на истощенных нефтегазовых месторождениях и ПХГ в условиях АНПД показывает, что в результате проникновения фильтрата и твердой фазы технологической жидкости происходит частичное или полное блокирование прискважинной зоны продуктивного пласта [1].

С целью снижения фильтрационных показателей жидкостей для ремонтных работ и сохранения коллекторских свойств пласта наряду с использованием полимеров, обеспечивающих высокие структурно-реологические параметры, часто применяют соли поливалентных металлов или содержащие их реагенты и природные материалы (например, бентонит) [2–4]. При этом за счет вулканизации полимера катионами металлов происходит образование прочной гелеобразной структуры, лучше удерживающей воду или мелкодисперсный наполнитель в макромолекулярной матрице, что способствует их меньшему проникновению в пласт. Однако такой способ снижения фильтрации полимерных составов также недостаточно эффективен с позиций уменьшения загрязнения пласта.

В результате изучения явлений, происходящих в призабойной зоне, установлено, что за счет неблагоприятного воздействия технологических жидкостей на фильтрационно-емкостные свойства пористой среды осваивается только раздренированная высокопроницаемая часть продуктивного пласта, в то время как низкопроницаемая часть практически не вовлекается в разработку [1].

Таким образом, вышеприведенное свидетельствует о необходимости обоснованного подхода к оценке фильтрационных свойств технологических жидкостей, используемых для заканчивания и ремонта скважин.

При проведении ремонтно-восстановительных работ в скважинах с АНПД [5] в качестве жидкостей глушения (блокирующих жидкостей) в последнее время широко применяются пеноэмульсионные системы, в том числе с различными наполнителями, на основе незамерзающей пенообразующей жидкости (НПОЖ) из растворов хлорида кальция и конденсированной сульфитно-спиртовой барды, содержащей дизельное топливо или газоконденсат в качестве углеводородной фазы [6–9]. Оценка их фильтрационных свойств проводят, используя оборудование, представляющее собой фильтр-пресс низкого давления, принцип действия которого аналогичен работе прибора фирмы «Бароид» (см. рис.).

В камеру помещают песок определенного гранулометрического состава, поверх которого заливают исследуемую пеноэмульсию. После этого камеру герметично закрывают и с помощью снабженного редуктором баллона со сжатым газом (азот, углекислый газ или воздух) создают давление 0,7 МПа. При данном давлении состав в камере выдерживают в течение 30 мин. Во время эксперимента определяют объем фильтрата, прошедшего через песчаный фильтр. В большинстве экспериментов используется промытый и высушенный песок гранулометрического состава 0,14 → 0,315 мм.

Проницаемость такого песчаного фильтра по воздуху составляет 5,5 мкм². В случае применения песка с размером частиц 0,315 → 0,63 мм проницаемость песчаного фильтра достигает 36 мкм², а с размером 0,08 → 0,14 мм – всего 1,5 мкм². Оценка фильтрационных свойств технологических жидкостей для глушения скважин в зависимости от гранулометрического состава песка искусственного фильтра может быть проведена в широком диапазоне его проницаемости [10].

Рассмотрим фильтрацию пеноэмульсий на примере разработанной автором жидкости глушения с наполнителями из отходов сельскохозяйственного производства (ОСП) [9]. Для исследований применялся промытый и высушенный песок в количестве 60 г гранулометрического состава 0,14 → 0,315 мм и 0,315 → 0,63 мм в соотношении 1:1 (проницаемость около 20 мкм²). Камера 1 (рис.) заполнялась 125 мл пеноэмульсии, после приготовления которой предварительно определялась её кратность, и при давлении 0,7 МПа фиксировалось количество отфильтровавшейся из неё жидкости за 30 мин. Результаты исследований сведены в табл.

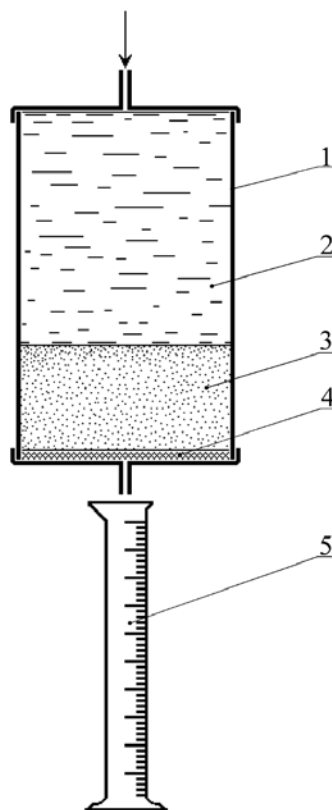


Рис. Схема устройства для исследования фильтрационных свойств пеноэмульсий:
1 – камера; 2 – исследуемый состав; 3 – песчаный фильтр; 4 – латунная сетка; 5 – мерный цилиндр

Таблица

Результаты определения влияния различных наполнителей на фильтрационные свойства пеноэмульсий

Добавка наполнителя из ОСП, % от объема НПОЖ	pH	Кратность	Объем филь- трата, мл	Коэффициент фильтрации, %
НПОЖ на основе газового конденсата				
3 % Целлотон-Фсух.	3,40	2,60	11	22,9
7 % Целлотон-Фсух.	3,87	2,05	12	19,7
3 % Подсолн.* сух.	3,15	2,40	0	0
3 % Подсолн.* (24 ч в NaOH)	8,26	2,40	1,6	3,1
3 % Подсолн.* (192 ч в NaOH)	7,00	2,50	0	0
3 % Подсолн.**сух.	4,85	3,00	–	100
3 % Подсолн. не прос., выдерж. в CaCl ₂ 24 ч	4,78	2,30	19	35,0
3 % Подсолн. измельч., выдерж. в CaCl ₂ 24 ч	5,04	2,35	13,5	25,4
3 % Соя*сух.	3,65	2,30	32,0	58,9
3 % Соя* (24 ч в NaOH)	8,20	2,25	24,0	43,2
3 % Соя**сух.	4,36	2,20	–	100

Добавка наполнителя из ОСП, % от объёма НПОЖ	pH	Кратность	Объём филь- трата, мл	Коэффициент фильтрации, %
3 % Гречиха* сух.	3,84	2,80	17,0	38,1
3 % Гречиха* (24 ч в NaOH)	7,92	2,48	7,4	14,7
3 % Гречиха* (168 ч в NaOH)	7,26	2,50	1	2,0
3 % Гречиха** сух.	3,16	2,60	–	100
3 % Гречиха** (168 ч в NaOH)	8,08	2,45	–	100
3 % Хлопок-стебель* сух.	3,80	2,60	9,8	20,4
3 % Хлопок-стебель* (24 ч в NaOH)	7,86	2,70	20,0	43,2
3 % Хлопок-стебель* (168 ч в NaOH)	7,85	2,65	15,0	31,8
3 % Хлопок-коробочка* сух.	4,07	2,00	6,0	9,6
3 % Хлопок-коробочка* (24 ч в NaOH)	7,80	2,00	20,0	32,0
3 % Полова** (1 ч в р-ре CaCl ₂)	3,75	2,60	34,0	70,7
7 % Полова** (1 ч в р-ре CaCl ₂)	3,64	2,40	38,0	73,0
3 % Полова* сух.	4,76	2,50	–	100
3% Полова* (1 ч в р-ре CaCl ₂)	4,66	2,45	–	100
7% Полова* сух.	4,51	2,20	36,0	63,4
НПОЖ на основе дизельного топлива				
3 % Соя* (168 ч в NaOH)	8,25	2,20	32,0	56,3
7 % Соя* (168 ч в NaOH)	7,97	2,10	8,5	14,3
7 % Соя* (1 мес в NaOH)	10,6	2,15	15,0	25,8
3 % Соя* сух.	3,95	2,25	30,0	54,0
3 % Гречиха* сух.	3,70	2,75	30,0	66,0
7 % Гречиха* (1 мес в NaOH)	9,24	2,10	13,0	21,8
7 % Подсолн.* сух.	4,96	1,60	0	0
7 % Подсолн.* (1 мес в NaOH)	10,2	2,43	3,0	5,8
7 % Хлопок-стебель* сух.	4,95	1,95	35,0	54,6
3 % Гранулы травы* сух.	5,10	2,10	59,5	100
7 % Гранулы травы* сух.	4,97	1,75	50,0	70,0

Примечания:

* – фракционный состав наполнителя соответствует фракционному составу Полицелл-Ф;

** – фракционный состав наполнителя соответствует фракционному составу торфа;

в скобках приведен способ обработки наполнителя перед введением в НПОЖ.

Из приведенных в графе 4 таблицы данных следует, что по количеству отфильтрованной из пеноэмульсий жидкости равноценные фильтрационные свойства имеют составы (отмечены курсивом) с наполнителем из ОСП: 3 мас. % хлопка (стебля) – 7 мас. % сои (по 15 мл) и 3 мас. % гречихи – 3 мас. % сои (по 30 мл).

Именно так ранее оценивался показатель фильтрации при исследовании физико-химических свойств пеноэмульсий. При этом не учитывалось, что вместо жидкости испытательная камера заполняется пеноэмульсией, то есть часть объёма камеры занимает не жидкость, а пена.

При более детальном подходе к вопросу оценки фильтрационных свойств пеноэмульсий автором установлено несоответствие полученных экспериментальных данных (при сравнении объёмов полученного фильтрата) фактическим показателям фильтрации этих систем. Имеется в виду следующее.

Если пеноэмульсия содержит вовлеченный при вспенивании воздух, в результате чего в камере находится лишь часть жидкости, являющейся дисперсионной средой с распределённой в ней дисперсной фазой (пузырьки воздуха, капли углеводородной жидкости и частицы наполнителя), то, очевидно, что показатель фильтрации такой системы должен быть величиной относительной, учитывающей объём фильтрата и объёмное содержание как жидкой фазы, так и вовлеченного воздуха. Получаемые с разными наполнителями пеноэмульсии имеют неодинаковую кратность, то есть из одного и того же объёма НПОЖ образуются различные объёмы пеноэмульсий. При определении их фильтрации испытательная камера устройства (рис. 1) заполняется равными объёмами (125 мл) пеноэмульсий, которые с учетом вышеприведенного в зависимости от кратности содержат разное количество жидкости. Поэтому и оценивать фильтрацию необходимо не только по количеству полученного за 30 мин фильтрата, но и общему объёму НПОЖ ($V_{нпж}$, мл) в исследуемой пеноэмульсионной системе, который можно выразить как отношение объёма взятой для испытания пеноэмульсии ($V_{нэ}$, мл) к её кратности (K):

$$V_{нпж} = \frac{V_{нэ}}{K}. \quad (1)$$

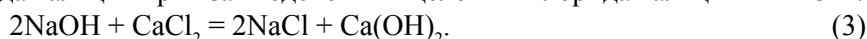
Если коэффициент фильтрации (K_f) выразить как отношение объёма полученного при испытании фильтрата (V_f , мл) к объёму НПОЖ в соответствии с формулой (1), то получим

$$K_f = \frac{V_f}{V_{нпж}} = \frac{V_f \cdot K}{V_{нэ}}. \quad (2)$$

Таким образом, в соответствии с формулой (2) для вышеприведенного примера: 3 мас. % гречи – 3 мас. % сои с одинаковым объёмом фильтрата (по 30 мл) – наилучшими антифильтрационными свойствами обладает состав с 3 мас. % сои, имеющий меньший K_f . Такой же вывод следует и для примера: 3 мас. % хлопка (стебля) – 7 мас. % сои (по 15 мл фильтрата), что при одном и том же объёме фильтрата, полученного из 125 мл пеноэмульсий обоих составов, наилучшим по антифильтрационным свойствам является состав с 7 мас. % сои с $K_f = 25,8 \%$, а не с 3 мас. % хлопка и с $K_f = 31,8 \%$ (табл. 1).

Описанные примеры свидетельствуют о том, что оценка фильтрационных свойств пеноэмульсий должна проводиться не по объёму отфильтровавшейся жидкой фазы, а по K_f в соответствии с формулой (2), который учитывает содержание как жидкой, так и газовой фазы в пеноэмульсии [11].

Как следует из данных табл. 1, на фильтрационные свойства пеноэмульсий оказывает влияние способ обработки наполнителя перед её приготовлением. Обработка щёлочью, как правило, повышает устойчивость и антифильтрационные свойства пеноэмульсий. Это обусловлено образованием мелкодисперсного осадка гидроксида кальция при взаимодействии щёлочи и хлорида кальция в НПОЖ:



Образующийся малорастворимый Ca(OH)_2 (произведение растворимости $5,5 \cdot 10^{-6}$) представляет собой дополнительную мелкодисперсную твердую фазу пеноэмульсии, оказывающую на систему стабилизирующее действие и снижающую её фильтрацию через пористую среду.

Степень измельчения наполнителей (фракционный состав, соответствующий составу торфа или выпускаемого ЗАО «Полицелл» наполнителя Полицелл-Ф) также оказывает влияние на фильтрационные свойства пеноэмульсионных систем. Наполнители с фракцией, близкой по составу к Полицелл-Ф, обеспечивают более низкую фильтрацию пеноэмульсий, чем наполнители с фракцией, соответствующей неизмельченному торфу. Более крупная фракция наполнителя отрицательно влияет на фильтрационные показатели исследуемых пеноэмульсионных систем, повышая K_f последних до 100 % (весь объём НПОЖ испытываемого состава фильтруется полностью) практически для всех видов используемых наполнителей.

1. Исследованиями установлено, что оценка фильтрационных свойств пенных систем должна проводиться с учетом их кратности и исходного объема пенообразующей жидкости. Предложен коэффициент фильтрации пенных систем и методика его определения.
2. Для обеспечения высоких технологических показателей жидкостей глушения с наполнителями технология их приготовления должна осуществляться с учетом химического состава входящих в наполнитель ингредиентов с целью его адаптации к составу жидкости-носителя.
3. Исследованиями влияния типа наполнителя в жидкость глушения (пеноэмульсию) на её фильтрацию в пористой среде установлено, что в соответствии с наиболее низкими фильтрационными свойствами получаемых пеноэмульсий (K_f не выше 15 %) целесообразно использование ОСП из подсолнечника, гречихи и хлопка определённого фракционного состава и вида химической обработки [10].

Жидкости глушения с растительным наполнителем – травяной мукой из корзинок подсолнечника использованы на Северо-Ставропольском ПХГ при ремонте скважин с АНПД. Эффективность их применения обусловлена снижением затрат на проведение работ и восстановлением доремонтных дебитов скважин [12–13].

Литература

1. Перейма А. А. Разработка тампонажных материалов и технологических жидкостей для заканчивания и ремонта скважин в сложных горно-геологических условиях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук (25.00.15). Краснодар, 2009. 42 с.
2. Пат. 2057781 РФ, С 09К 7/00, Е 21 В 43/26. Вязкоупругий состав / Перейма А. А., Тагиров К. М., Ильяев В. И. и др. Бюл. № 10, 1996.
3. Пат. 2033518 РФ, Е 21В 33/138. Состав для изоляции зон поглощения / Перейма А. А., Тагиров К. М., Ильяев В. И. и др. Бюл. № 11, 1995.
4. Перейма А. А. Оценка применения биополимера Ритизан для бурения и ремонта скважин / Н. Ю. Игнатенко, В. Е. Черкасова, В. Н. Селюкова // Газовая промышленность. 2008. № 9. С. 75–77.
5. Пат. 2121569 РФ, Е 21В 33/138. Способ изоляции притока подошвенной воды в газовых скважинах в условиях аномально низких пластовых давлений / Гасумов Р. А., Перейма А. А., Дубенко В. Е. Бюл. № 31, 1998.
6. Пат. 2245441 РФ, С 09 К 7/08. Пенообразующий состав для глушения скважин / Перейма А. А., Гасумов Р. А., Черкасова В. Е. Бюл. № 3, 2005.
7. Пат. 2266394 РФ, Е 21 В 43/12. Пенообразующий состав для глушения скважин / Перейма А. А., Черкасова В. Е., Гасумов Р. Р. Бюл. № 35, 2005.
8. Пат. 2152973 РФ, С 09 К 7/08. Пенообразующий состав для глушения скважин / Перейма А. А., Тагиров К. М., Гасумов Р. А. и др. Бюл. № 20, 2000.
9. Пат. 2205943 РФ, Е 21 В 43/12, С 09 К 7/08. Пеноэмульсионный состав для глушения скважин / Перейма А. А., Гасумов Р. А., Тагиров О. К. и др. Бюл. № 16, 2003.
10. Перейма А. А., Черкасова В. Е., Тукаева Г. Ф. К вопросу оценки фильтрационных свойств пеноэмульсий с растительными наполнителями // Проблемы эксплуатации и капитального ремонта скважин на месторождениях и ПХГ: сб. науч. тр. / СевКавНИПИгаз. Ставрополь: СевКавНИПИгаз, 2004. Вып. 41. С. 159–168.
11. Гасумов Р. А., Перейма А. А. Жидкости глушения и технология их применения при ремонте скважин с низким пластовым давлением // Обз. инф. Сер. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. 152 с.
12. Применение блокирующих жидкостей с наполнителем при проведении ремонтно-восстановительных работ на скважинах Северо-Ставропольского ПХГ / А. А. Перейма, Р. А. Гасумов, В. Е. Черкасова и др. // Сб. науч. тр. СевКавНИПИгаз. Ставрополь: СевКавНИПИгаз, 2003. Вып. 39. С. 33–39.
13. Пеноэмульсии с наполнителями растительного происхождения для ремонтно-восстановительных работ в скважинах с АНПД / А. А. Перейма, В. А. Суковицын, В. Е. Черкасова и др. // Газовая промышленность. 2008. № 4. С. 66–67.