

УДК 532.546

МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ МИЦЕЛЛЯРНОМ ЗАВОДНЕНИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

ТОКАРЕВА Н. А., ЦЫНКОВА О. Э.

Задача о мицеллярно-полимерном заводнении [1] нефтенасыщенного или обводненного пласта решалась ранее в рамках предположений о двухфазном течении жидкостей в пористой среде [2, 3]. При анализе мицеллярный раствор (МР), представляющий собой коллоидную систему углеводородной и водной компонент, стабилизированную высококонцентрированными поверхностно-активными веществами (нефтерастворимыми, а также водорастворимыми), объединялся с вытесняющей или с вытесняемой фазами. Ряд существенных эффектов оставался при этом вне рассмотрения.

Новейшие лабораторные и теоретические исследования [4–6] диктуют необходимость выделения мицеллярного раствора в самостоятельную гидродинамическую фазу, отличную от нефтяной и водной. Дело в том, что относительный объем мицеллярного раствора в поровом пространстве достаточно велик, а межфазные натяжения на границах МР с нефтью и водой конечны и различны. Здесь рассмотрена задача о мицеллярном заводнении на базе уравнений трехфазной многокомпонентной фильтрации с учетом сорбционных явлений и массообмена. При этом число факторов, влияющих на процесс, сведено к минимуму. Получено автомодельное решение, обобщающее результаты работы [7].

1. В рассматриваемой постановке задачи в водную фазу могут включаться две компоненты — вода и сорбирующийся на породе полимер (вязким раствором полимера в воде по пласту продвигается небольшой объем — оторочка — мицеллярного раствора).

В мицеллярном растворе выделена сорбирующаяся компонента — поверхностно-активное вещество. Эта компонента, к которой формально присоединяется и растворитель, определяет свойства мицеллярного раствора как близкого к идеальному вытесняющего агента, средоточия которого с нефтью и водой весьма сильно и вязкость которого достаточно велика.

При сорбировании ПАВ в породе пласта, при удержании частиц МР породой, а также при взаимодействии МР с солями пластовой воды, ведущем к выпадению осадков, происходит постепенное обращение коллоидной системы в обычную эмульсию и расслаивание эмульсии на углеводородную и водную фазы.

Будем называть обобщенно «сорбцией» (по терминологии работы [8] — «абстракция») всю совокупность перечисленных и некоторых других факторов, ведущих к снижению эффективности мицеллярного заводнения и разрушению мицеллярного раствора как единой структуры.

В пренебрежении капиллярными, гравитационными и диффузионными силами одномерные уравнения трехфазной фильтрации, моделирующие рассматриваемый процесс, запишутся в виде

$$m \frac{\partial (S_i C_i + a_i / m)}{\partial t} + \frac{\partial u_i C_i}{\partial x} = 0 \quad (i=1, 3)$$
$$m \frac{\partial S_j}{\partial t} + \frac{\partial u_j}{\partial x} = \frac{\partial Q_j}{\partial t}$$

$$(1.1) \quad u_j = -\frac{k}{\mu_j} f_j \frac{\partial p}{\partial x} \quad (j=1, 2, 3)$$

$$a_i = a_i(S_i, C_i), \quad S_1 + S_2 + S_3 = 1$$

Здесь S_1 — насыщенность водной фазой, S_2 — нефтенасыщенность, S_3 — насыщенность мицеллярным раствором (микроэмульсией), C_1 — концентрация полимера в водной фазе, C_3 — концентрация ПАВ в третьей фазе, a_1 — сорбция полимера из первой фазы, a_3 — «сорбция» ПАВ из мицеллярного раствора, u_j — фазовые скорости, μ_j — вязкости, k — абсолютная проницаемость, f_j — относительные фазовые проницаемости.

Массообмен между фазами — мицеллярным раствором с одной стороны, нефтью и водой — с другой — в принятой схеме осуществляется таким образом, что по мере обеднения (в связи с «сорбцией») мицеллярный раствор распадается, распределяясь между нефтяной и водной фазами.

Поэтому естественно положить

$$(1.2) \quad Q_3 = -a_3/C_3, \quad Q_1 = -Q_3\alpha_1, \quad Q_2 = -Q_3(1-\alpha_1) \quad (C_3 > 0)$$

$$Q_3 = Q_1 = Q_2 = 0 \quad (C_3 = 0)$$

Здесь a_3/C_3 — количество мицеллярного раствора, обедненного сорбцией, в данной точке пласта; α_1 и $(1-\alpha_1)$ характеризуют доли водной и углеводородной компонент в общем объеме МР (доля ПАВ и растворителей считается пренебрежимо малой, соответственно пренебрегается объемом сорбированного ПАВ).

Искомое решение задачи трехфазной фильтрации должно сводиться к известным решениям в соответствующих частных случаях (течения нефть — вода, МР — нефть, МР — вода). Поэтому задание фазовых проницаемостей в трехфазном течении должно наиболее полно отвечать имеющимся представлениям о механизме вытеснения нефти и воды мицеллярными растворами.

Предполагаются следующие аппроксимационные выражения для функций f_i :

$$(1.3) \quad f_i = b_i \left(\frac{S_i - S_{i0}}{S_*} \right)^{n_i} \quad (i=1, 2, 3)$$

Здесь S_{10} , S_{20} — минимальные значения водо- и нефтенасыщенностей при данном количестве нефтерастворимого ПАВ $C_3 S_3$ в общем объеме жидкости, $S_* = 1 - S_{10} - S_{20}$, $S_{30} = 0$.

Величины S_{10} и S_{20} определяются линейной интерполяцией между их крайними значениями, одно из которых (S_{10}°) соответствует нулевому содержанию ПАВ, а другое (S_{10}^m) — максимально возможному его содержанию

$$(1.4) \quad S_{i0} = S_{i0}^{\circ} - \frac{C_3 S_3}{C_3^{\circ} S_3^{\circ}} (S_{i0}^{\circ} - S_{i0}^m) \quad (i=1, 2)$$

Здесь C_3° , S_3° — исходные значения C_3 и S_3 .

Максимальные значения фазовых проницаемостей по воде и нефти b_1 и b_2 (концевые точки) определяются аналогичным образом

$$(1.5) \quad b_i = b_i^{\circ} - \frac{C_3 S_3}{C_3^{\circ} S_3^{\circ}} (b_i^{\circ} - b_i^m) \quad (i=1, 2)$$

Здесь b_i° — максимумы фазовых проницаемостей по воде и нефти в отсутствие МР, b_i^m — максимумы фазовых проницаемостей по воде и нефти в двухфазных течениях МР — вода и МР — нефть.

Остаточные насыщенности мицеллярным раствором принимаются нулевыми, максимум фазовой проницаемости для МР равен единице.

Для показателей степеней в выражениях фазовых проницаемостей также принимаются «интерполяционные» выражения

$$(1.6) \quad n_i = n_i^\circ - \frac{C_3 S_3}{C_3^\circ S_3^\circ} (n_i^\circ - n_i^m) \quad (i=1, 2, 3)$$

Значения $n_i^\circ=3$ и $n_i^m=1$ представляются здесь наиболее естественными.

Ясно, что экспериментальное определение зависимостей фазовых проницаемостей от насыщенностей и концентраций в процессе трехфазной фильтрации с сорбцией и массообменом весьма затруднительно.

В то же время предложенное (соотношения (1.3)–(1.6)) «конструирование» этих функций осуществлено с учетом характерных особенностей процесса. Эти особенности, как известно, состоят в том, что присутствие высококонцентрированных поверхностно-активных веществ в различных композиционных формах снижает межфазные натяжения до исчезающе малых величин, т. е. в рамках принятых допущений кривые зависимостей фазовых проницаемостей от соответствующих насыщенностей приближаются к прямым с нулевыми начальными точками и единичными угловыми коэффициентами.

2. Ниже исследуется допускающая автомодельное решение задача о вытеснении нефти и воды непрерывно нагнетаемым в пласт мицеллярным раствором.

Запишем систему (1.1) в виде

$$(2.1) \quad m \frac{\partial (CS_3 + a/m)}{\partial t} + \frac{\partial u_3 C}{\partial x} = 0$$

$$m \frac{\partial S_3}{\partial t} + \frac{\partial u_3}{\partial x} = -\frac{\partial Q}{\partial t}, \quad m \frac{\partial S_1}{\partial t} + \frac{\partial u_1}{\partial x} = \alpha \frac{\partial Q}{\partial t}$$

Здесь $a=a_3$, $C=C_3/C_3^\circ$, $u_i=uF_i$ ($i=1, 3$), u – скорость фильтрации, $F_i=F_i(S_1, S_3, C)$ – функции распределения потоков в трехфазном течении $Q=a/C$ – количество третьей фазы, обедненной уходящим из мицеллярного раствора поверхностно-активным веществом.

Полагая для простоты $a=\Gamma CS_3$, где $\Gamma=\text{const}$ (изотерма Генри), перепишем (2.1) в следующей форме:

$$(2.2) \quad m \frac{\partial CS_3(1+\Gamma/m)}{\partial t} + u \frac{\partial CF_3}{\partial x} = 0$$

$$m \frac{\partial S_3(1+\Gamma/m)}{\partial t} + u \frac{\partial F_3}{\partial x} = 0$$

$$m \frac{\partial (S_1 - \alpha \Gamma S_3/m)}{\partial t} + u \frac{\partial F_1}{\partial x} = 0$$

Краевые условия для системы (2.2) имеют вид

$$(2.3) \quad S=S_3^\circ, \quad C=1, \quad S_1=S_{10}^m, \quad x=0$$

$$S_3=0, \quad C=0, \quad S_1=S_{10}^\circ, \quad t=0$$

Вводя автомодельную переменную $\xi = mx/ut$ ($u = \text{const}$), можно преобразовать соотношения (2.2), (2.3) к виду

$$(2.4) \quad \begin{aligned} & \left[F_3 - \xi S_3 \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \right] \frac{dC}{d\xi} = 0 \\ & \left[\frac{\partial F_3}{\partial S_3} - \xi \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \right] \frac{dS_3}{d\xi} + \frac{\partial F_3}{\partial S_1} \frac{dS_1}{d\xi} + \frac{\partial F_3}{\partial C} \frac{dC}{d\xi} = 0 \\ & \left[\frac{\partial F_1}{\partial S_3} + \frac{\xi \alpha \Gamma}{m} \right] \frac{dS_3}{d\xi} + \left(\frac{\partial F_1}{\partial S_1} - \xi \right) \frac{dS_1}{d\xi} + \frac{\partial F_1}{\partial C} \frac{dC}{d\xi} = 0 \\ & S = S_3^\circ, C = 1, S_1 = S_{10}^m, \xi = 0 \\ & S_3 = 0, C = 0, S_1 = S_{10}^\circ, \xi = \infty \end{aligned}$$

При $C = 0$, $\Gamma = 0$ система (2.4) сводится к полученной в [7] при рассмотрении автомодельных решений задач трехфазной фильтрации.

Очевидно, система (2.4) имеет решение, отличное от тривиального $S_3 = \text{const}$, $S_1 = \text{const}$, $C = \text{const}$ при выполнении условия

$$(2.5) \quad \left\{ \xi^2 \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) - \xi \left[\frac{\partial F_3}{\partial S_3} + \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \frac{\partial F_1}{\partial S_1} - \alpha \frac{\Gamma}{m} \frac{\partial F_3}{\partial S_1} + \left(\frac{\partial F_1}{\partial S_1} \frac{\partial F_3}{\partial S_3} - \frac{\partial F_3}{\partial S_1} \frac{\partial F_1}{\partial S_3} \right) \right] \right\} \left[F_3 - \xi S_3 \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \right] = 0$$

Далее будет показано, что второй сомножитель левой части (2.5) обращается в нуль на скачке концентрации. Поэтому уравнения характеристических поверхностей записываются в виде

$$(2.6) \quad \begin{aligned} & 2 \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \xi = \frac{\partial F_3}{\partial S_3} + \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \frac{\partial F_1}{\partial S_1} - \alpha \frac{\Gamma}{m} \frac{\partial F_3}{\partial S_1} \pm \\ & \pm \sqrt{\left[\frac{\partial F_3}{\partial S_3} - \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \frac{\partial F_1}{\partial S_1} \right]^2 - 2\alpha \frac{\Gamma}{m} \frac{\partial F_3}{\partial S_1} \left[\frac{\partial F_3}{\partial S_3} + \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \frac{\partial F_1}{\partial S_1} \right] +} \\ & + 4 \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \frac{\partial F_3}{\partial S_1} \frac{\partial F_1}{\partial S_3}} \end{aligned}$$

При этом, очевидно, необходимо выполнение условия гиперболичности — условия положительности подкоренного выражения в (2.6).

Из (2.4) с учетом (2.6) можно получить уравнения характеристик

$$(2.7) \quad \begin{aligned} & \frac{dC}{d\xi} = 0, \quad \frac{dS_3}{d\xi} \left[\frac{\partial F_3}{\partial S_3} - \xi \left(1 + \frac{\Gamma}{m} \right) \right] + \frac{\partial F_3}{\partial S_1} \frac{dS_1}{d\xi} = 0 \\ & \left(\xi \neq \frac{F_3}{(1 + \Gamma/m) S_3} \right) \end{aligned}$$

Решение на участке непрерывного изменения ξ может быть представлено в виде

$$(2.8) \quad C = \text{const}, \quad S_1 = S_1(\xi), \quad S_3 = S_3(\xi)$$

причем в связи с граничными условиями (2.4) используются только характеристики первого семейства, т. е. в (2.6) берется верхний знак.

Возвращаясь к системе (2.4), нетрудно увидеть, что при

$$\xi = F_3 / (1 + \Gamma/m) S_3$$

возможны разрывы

$$dC/d\xi = \infty, dS_3/d\xi = \infty, dS_1/d\xi = \infty$$

Таким образом, как и в случае двухфазного моделирования процессов вытеснения нефти водой с активной примесью [9], распределение концентрации состоит из участков начального и граничного значений C , разделенных скачком, причем на скачке концентрации терпят разрыв также и насыщенности.

Тот же результат получен и в работе [10], где модель трехфазной фильтрации применена к процессу вытеснения нефти с формированием эмульсии в пласте за счет взаимодействия раствора активной примеси с нефтью.

Из условий объемного баланса фаз и компонент выписываются соотношения на скачке концентрации

$$(2.9) \quad \frac{F_3^+}{S_3^+ (1 + \Gamma/m)} = \xi, \quad \frac{F_1^+ - F_1^-}{S_1^+ - \alpha \Gamma S_3^+ / m - S_1^-} = \xi$$

$$C^+ = 1, C^- = 0, S_3^- = 0$$

Здесь индекс плюс относится к величинам за скачком, минус — перед скачком, в выражении (2.6) для ξ берется верхний знак.

Соотношения (2.6), (2.7), (2.9) описывают рассматриваемый процесс вытеснения нефти мицеллярным раствором. При этом в области

$$(2.10) \quad 0 < \xi < \xi_* = F_3^+ / S_3^+ (1 + \Gamma/m)$$

вообще говоря, реализуется трехфазное течение, для $\xi > \xi_*$ третья фаза отсутствует. На фронте концентрации происходит распад обедненного мицеллярного раствора на углеводородную и водную фазы, поэтому $S_3^- = C^- = 0$.

Если в рамках рассматриваемой постановки задачи существуют условия, при которых реализуется поршневое вытеснение

$$S_3^+ = S_3 = S_3^0, F^+ = F_3 = 1, S_1^+ = F_1^+ = 0$$

то водонасыщенность перед фронтом концентрации, где формируется так называемый водонефтяной вал (область постоянной нефте- и водонасыщенности, ограниченная справа фронтом вытеснения), находится из равенств (2.9), записанных в виде

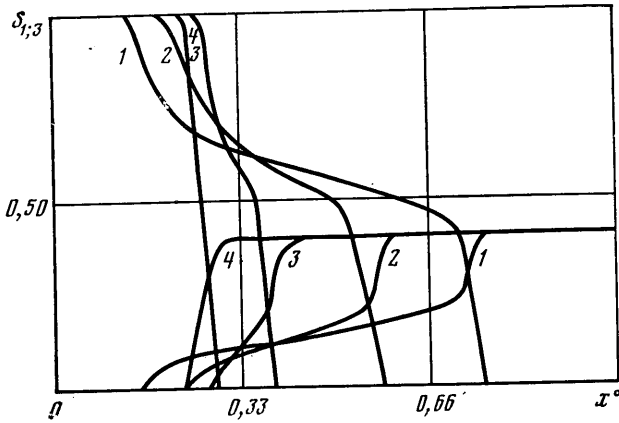
$$(2.11) \quad \frac{1}{S_3^0 (1 + \Gamma/m)} = \frac{F_1^-}{S_1^- + \alpha \Gamma S_3^0 / m}$$

В случае $\alpha = 1$ (весь обедненный МР переходит в водную фазу) условие (2.11) совпадает с известным условием для определения насыщенностей в зоне вала при двухфазном моделировании мицеллярного заводнения [2] или процесса вытеснения нефти растворителями.

Следует обратить внимание на то, что граничная точка $\xi = 0$ является особой точкой для уравнений характеристик (2.7), (2.6).

В связи с этим для фиксации характеристики необходимо дополнительное соотношение. Таким соотношением может быть только балансовое равенство, определяющее величину S_1^- . Тогда S_3^+ и S_1^+ — координаты точки, через которую проходит характеристика, — найдутся из (2.6) и (2.9).

В работе [7], где рассматривается классическая задача трехфазной



Фиг. 1

фильтрации (без присутствия дополнительной компоненты), непрерывная ветвь искомого решения, идущая из особой точки, сопрягается через скачок непосредственно с начальной точкой ($S_1^- = S_1|_{t=0}$).

В данной работе S_1^- определяется из соотношения (2.11), которое следует рассматривать как уравнение баланса расходов между начальным и конечным сечениями зоны, в которой $S_3 > 0$.

3. Ниже приводятся результаты численного исследования рассматриваемого трехфазного течения мицеллярный раствор — нефть — вода. Разностная схема «уголок» с постоянным шагом по x и автоматическим выбором шага по временной координате применена к системе (2.2), (2.3).

Расчеты проводились по пространственной сетке с 50 узлами. В расчетных примерах принималось $S_3|_{x=0} = 1$, $S_1|_{t=0} = 0,5$.

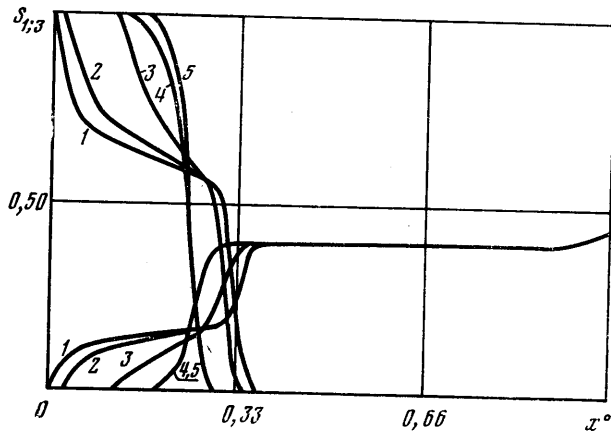
Вначале рассматривается влияние вязкости мицеллярного раствора μ_3 на распределение насыщенных. При этом адсорбция полагается нулевой, фазовые проницаемости задаются в соответствии с (1.3)–(1.6) при $b_i = 1$, $S_{i0}^m = 0$, $S_{10}^0 = 0,2$, $S_{20}^0 = 0,2$, $\mu_1 = 1$ сП, $\mu_2 = 5$ сП.

На фиг. 1 даны распределения насыщенностей S_1 и S_3 по безразмерной длине пласта в один и тот же достаточно удаленный от начального момент времени для $\mu_3 = 5, 10, 20, 40$ сП (кривые 1–4 соответственно). Чтобы не загромождать фигуру, на ней не показано распределение концентрации $C = 1$ при $S_3 > 0$, $C = 0$ при $S_3 = 0$ для каждого из представленных случаев.

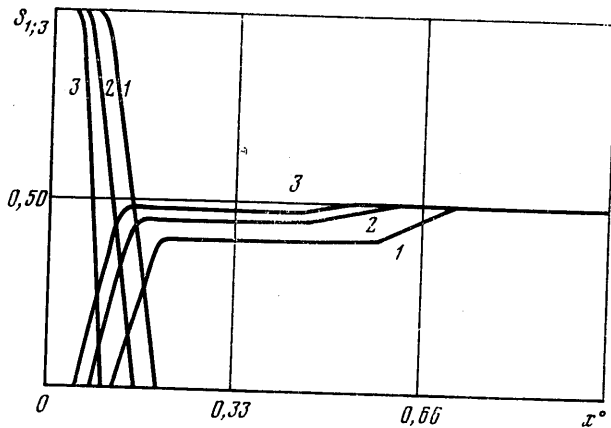
На кривых 1 имеется короткий начальный участок поршневого движения МР ($S_3 = 1$, $S_1 = 0$), затем — протяженная зона трехфазного течения (распределение насыщенностей в ней носит типичный «баклеевский» характер). Эта зона заканчивается скачком концентрации и насыщенностей, впереди которого находится водонефтяной вал, ограниченный справа не показанным на фиг. 1 фронтом вытеснения (или областью непрерывного изменения насыщенности до начальной).

Переходя от кривых 1 к кривым 2, 3, 4, нетрудно увидеть постепенное сокращение длины зоны трехфазного течения. При $\mu_3 = 20$ сП (кривые 3), эта зона совсем мала, при $\mu_3 = 40$ сП участок плавного изменения S_3 и S_1 полностью исчезает. Осуществляется чисто поршневое вытеснение с двумя характерными областями: область течения мицеллярного раствора $S_3 = 1$, $S_1 = 0$, область совместного движения воды и нефти $S_3 = 0$, $S_1 = 0,4$.

Примечательным является следующее. Вязкость мицеллярного раствора не влияет на значение насыщенностей в зоне водонефтяного вала.



Фиг. 2



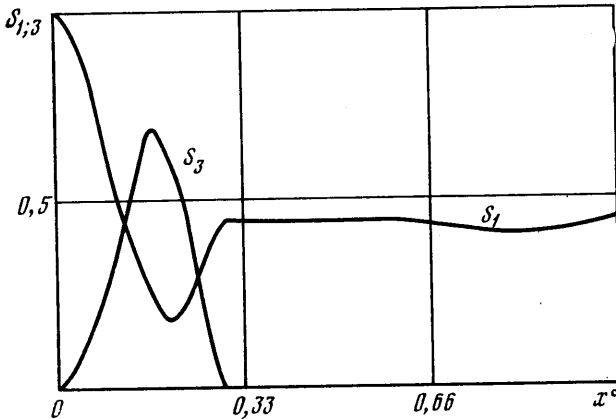
Фиг. 3

Результат этот, очевидно, полностью согласуется с рассуждениями п. 2, где насыщенность в области вала S_{i-} предлагалось определять из равенства (2.11).

В то же время вязкость мицеллярного раствора является фактором, определяющим при прочих равных условиях вид кривых насыщенностей в зоне трехфазного течения и протяженность этой зоны.

Следует отметить, что вообще наличие существенной зоны трехфазной фильтрации при вязкостях МР, превышающих вязкость нефти, должно учитываться в условиях практической реализации процесса мицеллярного заводнения. В действительности в этой зоне может происходить интенсивное перемешивание МР с водой и нефтью, диффузия поверхностно-активного вещества из МР в нефть и воду и в итоге — снижение эффективности вытеснения. Поэтому вязкость МР должна выбираться не просто большей, чем вязкость нефти, а настолько большей, чтобы исключить формирование протяженной зоны совместного течения мицеллярного раствора, нефти и воды (здесь это величины порядка 30–40 сП.)

Далее исследуется вопрос о значении выбора вида относительных фазовых проницаемостей при трехфазном моделировании мицеллярного заводнения. Как уже указывалось выше, введение величины CS_3/S_3^0 в показатели степени выражений f_i дает возможность с приемлемой мерой



Фиг. 4

адекватности отразить факт приближения кривых f_i к линейным функциям насыщенностей и вытеснения — к поршневому при увеличении концентрации ПАВ в общем объеме жидкости. В формулах (1.6) использована линейная интерполяция по CS_3/S_3° между показателями степени 1 и 3. Применение нелинейной интерполяции в различных формах может увеличить или уменьшить размер зоны поршневого вытеснения.

На фиг. 2 даны результаты расчетов распределений насыщенностей S_1 и S_3 в один и тот же момент времени, при тех же, что и в вышеприведенном примере, начальных и граничных значениях искомых функций в случае $\mu_1=1$ сП (вязкость воды), $\mu_2=5$ сП (вязкость нефти), $\mu_3=10$ сП (вязкость МР), $a=0$ для $n_i=3$ (кривые 1), $n_i=3-2\gamma^3$ (2), $n_i=3-2\gamma$ (3), $n_i=3-2\gamma^{0,33}$ (4), $n_i=3-2\gamma^{0,1}$ (5), где $\gamma=CS_3/S_3^\circ$ ($i=1, 2, 3$).

Переходя от кривых 1 к кривым 2, 3, 4, 5, получаем постепенную трансформацию трехфазных распределений насыщенностей «баклеевского» типа в распределения, отвечающие поршневому характеру вытеснения. Скачок концентрации в каждом случае совпадает со скачком насыщенностей (слева $C=1$, справа $C=0$). Водонасыщенность в зоне вала, сформированного перед фронтом концентрации, постоянна для всех использованных форм задания фазовых проницаемостей (этот результат также подтверждает вывод п. 2, поскольку (2.11) не содержит относительных проницаемостей трехфазного течения).

Произвол в выборе вида зависимостей показателей n_i от CS_3/S_3° может быть до некоторой степени устранен данными обычных лабораторных экспериментов по вытеснению нефти мицеллярными растворами.

Влияние сорбционной характеристики МР (и массообмена) на рассматриваемый процесс проиллюстрировано на фиг. 3, где дано распределение насыщенностей S_1 и S_3 при $\mu_1=1$ сП, $\mu_2=5$ сП, $\mu_3=20$ сП, $\alpha=1$, $n_i=3-2\gamma$, $S_3^\circ=1$, $S_{10}|_{t=0}=0,5$, $S_{10}^\circ=0,2$, $S_{20}^\circ=0,2$ и $\Gamma/m=0; 0,5; 1,0$ (кривые 1–3 соответственно) в один и тот же момент времени.

Как и в случае двухфазного моделирования, с увеличением Γ уменьшается скорость фронта концентрации и увеличивается водонасыщенность в зоне водонефтяного вала. Абсолютные и относительные подвижности фаз в зоне трехфазного течения не влияют на насыщенности в области вала при наличии сорбции так же, как и без нее.

4. Моделирование процесса мицеллярно-полимерного заводнения на базе уравнений трехфазной пятикомпонентной фильтрации (1.1) дает ряд содержательных результатов при описании движения мицеллярной

оторочки, продвигаемой буфером водного раствора полимера — загустителя воды. Обычно подвижность буфера стараются подобрать таким образом, чтобы по возможности избежать внедрения воды в зону мицеллярной оторочки со стороны ее заднего фронта. Однако в реальных условиях внедрение все-таки происходит хотя бы в связи с тем, что при сорбировании полимера в породе пласта впереди фронта концентрации полимера фильтруется вода, подвижность которой много выше подвижности мицеллярного раствора. Указанные эффекты отчасти отражены в работе [3], где описывается движение обедненной полимером воды через мицеллярную оторочку и прорыв воды в зону водонефтяного вала.

Однако принятые в [3] уравнения двухфазной фильтрации ограничивают возможности адекватного моделирования прорыва воды через мицеллярную оторочку с соответствующим снижением эффективности вытеснения. На фиг. 4 представлены результаты расчетов распределений насыщенностей S_1 и S_3 (кривая 1 — первая фаза, кривая 3 — третья) при вытеснении нефти мицеллярной оторочкой объемом 0,1 от объема пор при вязкости МР, равной 20 сП, и вязкости раствора полимера 20 сП. Начальные и граничные условия, а также вязкости воды и нефти взяты теми же, что и в вышеприведенных примерах.

Видно продвижение воды через мицеллярную оторочку к сформировавшемуся впереди нее водонефтяному валу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сургучев М. Л., Шевцов В. А., Сурина В. В. Применение мицеллярных растворов для увеличения нефтеотдачи пластов. М.: Недра, 1977. 175 с.
2. Токарева Н. А., Цыпкина О. Э. О мицеллярно-полимерном заводнении нефтяных пластов в условиях необратимой сорбции.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1979, № 2, с. 63.
3. Цыпкина О. Э., Токарева Н. А. Влияние адсорбции на процесс мицеллярного заводнения.— В кн.: Добыча нефти. Вып. 61. М.: Всесоюз. нефтегаз. н.-и. ин-т, 1977, с. 102.
4. Бурдынь Т. А., Вахитов Г. Г., Горбунов А. Т. и др. Перспективы развития методов повышения нефтеотдачи с применением микроэмульсий и мицеллярных растворов.— В кн.: Состояние и перспективы применения новых методов увеличения нефтеотдачи пластов. М.: Всесоюз. н.-и. ин-т организаций, управления и экономики нефтяной промышленности (ВНИИОЭНГ), 1977, с. 23. (Матер. Всесоюз. семинара, Уфа, 1976).
5. Nelson R. C., Pope G. A. Phase relationships in chemical flooding.— Soc. Petrol. Eng. Journal, 1978, v. 18, № 5, p. 325.
6. Pope G. A., Nelson R. C. A chemical flooding compositional simulator.— Soc. Petrol. Eng. Journal, 1978, v. 18, № 5, p. 339.
7. Шалимов Б. В. О фильтрации трехфазной жидкости (модель Баклея — Леверетта).— Изв. АН СССР. МЖГ, 1972, № 1, с. 39.
8. Somasudaran P., Hanna H. S. Adsorption of sulfonates on reservoir rocks.— Soc. Petr. Eng. Journal, 1979, v. 19, № 4, p. 221.
9. Брагинская Г. С., Ентов В. М. О неизотермическом вытеснении нефти раствором активной примеси. М., 1978. 60 с. (Ин-т проблем мех. АН СССР. Препринт № 112).
10. Токарева Н. А., Цыпкина О. Э. О нагнетании в пласты агентов, способных диспергировать нефть.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1980, № 1, с. 178.

Москва

Поступила в редакцию
29.IV.1980