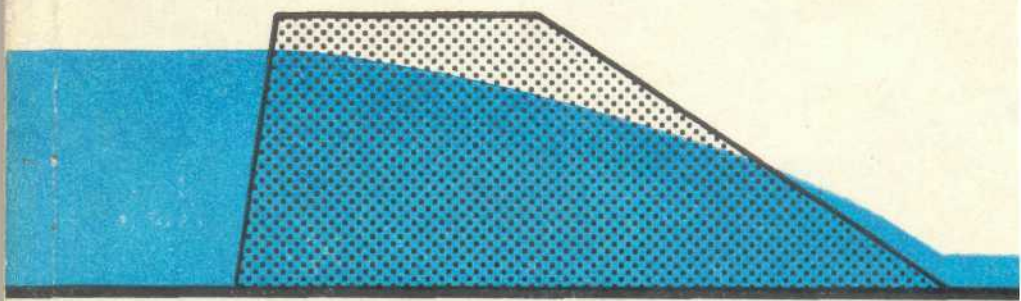
ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ

и механика процессов повышения нефтеотдачи



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Институт проблем механики

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ
и механика процессов повышения нефтеотдачи

Ответственные редакторы:
академик П. Я. КОЧИНА,
доктор технических наук В. М. ЕНТОВ

Москва
«НАУКА»
1987

УДК 532.546+622.276.6

Проблемы теории фильтрации и механика процессов повышения нефтеотдачи. М.: Наука, 1987.

Сборник посвящен актуальным проблемам теории фильтрации, механике процессов повышения нефтеотдачи пластов и примыкающим к ним вопросам математики и гидродинамики гетерогенных систем. В основу сборника легли обзорные и проблемные доклады, сделанные на Всесоюзном семинаре по современным проблемам и математическим методам теории фильтрации (Москва, 1984 г.). Они отражают наиболее интенсивно развивающиеся направления теории движения жидкостей и газов в природных пористых средах и приложения ее в нефтяной и газовой промышленности, гидротехнике и мелиорации, задачах охраны окружающей среды.

Для специалистов в области теории фильтрации и механики гетерогенных сред, инженеров и научных работников нефтяной и газовой промышленности и водного хозяйства.

Рецензенты:
О. В. ГОЛУБЕВА, В. М. РЫЖИК

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ
и механика процессов повышения нефтеотдачи

Утверждено к печати
Институтом проблем механики Академии наук СССР

Редактор издательства Ю. А. Юдина
Художник А. А. Кущенко. Художественный редактор Н. Н. Власик
Технические редакторы Л. И. Куприянова, А. М. Сатарова
Корректоры Н. Б. Габасова, Л. В. Лукичева

ИБ № 35638

Сдано в набор 29.07.86. Подписано к печати 20.11.86. Т-15183. Формат 60×90¹/₁₆
Бумага кн.-журнальная импортная. Гарнитура литературная. Печать высокая
Усл. печ. л. 13,5. Усл. кр. отт. 14,0. Уч.-изд. л. 15,1. Тираж 1200 экз. Тип. зак. 4957
Цена 2 р. 30 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука». 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

П $\frac{2105000000-563}{042(02)-87}$ 257—87—I

© Издательство «Наука», 1987 г.

За счет метода получено около 2,5 тыс. т нефти (около 20% от остаточных запасов), которая другими методами не могла бы быть извлечена. Вместе с тем стала очевидной необходимость коренного улучшения технологии применения этого метода ввиду явно отрицательного влияния на стабильность и подвижность мицеллярного раствора солей жесткости (находящихся как в пластовой воде, так и в породе), несмотря на предпринятые усилия по их удалению.

Перспективы применения этой технологии поверхностно-активных веществ будут целиком зависеть от решения двух проблем:

обеспечения стабильности мицеллярных растворов в условиях высокого содержания многовалентных катионов кальция и магния;

существенного удешевления самих мицеллярных растворов и упрощения технологии их применения.

Решение первой проблемы, возможно, находится в области использования для мицеллярных растворов различных композиций — неионогенных ПАВ с разной степенью оксиэтилирования, неионогенных и анионактивных и др. Основным способом удешевления мицеллярных растворов, видимо, станет исключение углеводородной жидкости из их состава и уменьшение концентрации поверхностно-активных веществ. Состояние текущих исследований этих проблем позволяет надеяться на успех и на широкие перспективы применения поверхностно-активных веществ для извлечения остаточных запасов нефти после заводнения.

УДК 532.546

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВУХФАЗНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

В. Б. Таранчук, Л. А. Чудов

В настоящей работе рассматриваются конечно-разностные методы решения задач физико-химической подземной гидродинамики. Эффективность их применения изучается на примерах задач изотермической фильтрации двух несмешивающихся несжимаемых жидкостей в недеформируемой пористой среде при наличии активной примеси, которая растворена только в вытесняющей фазе.

Математические модели физико-химической подземной гидродинамики [1] являются, как правило, обобщением соответствующих моделей, описывающих фильтрацию двух жидкостей, когда примеси отсутствуют. Это обстоятельство используется при разработке разностных методов расчета моделей процессов вытеснения нефти водой с активными примесями. В частности, численные алгоритмы, в которых определяются насыщенность и давление, дополняются путем включения алгоритмов расчета концентрации примеси и учета ее влияния на коэффициенты уравнений для насыщенности и давления. Такое дополнение производится с использованием метода расщепления по физическим процессам (см., например: [2]). Разностная схема строится таким образом, что на каждом временном слое давление, насыщенность вытесняющей жидкости и концентрация примеси рассчитываются последовательно, без итераций по нелинейности, и, если это требуется, когда присутствуют конвективные и диффузионные составляющие, уравнения для насыщенности и концентрации также расщепляются. Применение метода расщепления по физическим процессам в задачах двухфазной фильтрации, когда рассчитываются только давление и насыщенность, достаточно полно обосновано. Некоторые полученные частные результаты (например: в [3]) в случае, если рассчитывается также и концентрация, показали, что и в задачах многофазной многокомпонентной фильтрации применение этого метода возможно, требуемая точность достигается, а соответствующие алгоритмы дают значительное сокращение времени расчета решений в сравнении с итерационными аппроксимациями.

Важным вопросом при разработке приближенных методов является оценка точности. Для задач двухфазной фильтрации применение разностных схем более высокого порядка не всегда приводит к повышению точности приближенных решений. Поэтому особое внимание следует уделять сравнению численных решений с эталонными, и в частности, всегда, когда это возможно, необходимо проводить тестирование путем сопоставления с точными аналитическими решениями.

Рассмотрим одномерную плоскую линейную задачу изотермической фильтрации двух несмешивающихся несжимаемых ньютоновских жидкостей в недеформируемой пористой среде, когда вместе с вытесняющей жидкостью постоянно или ограниченной оторочкой закачивается активная примесь. Уравнения для определения давления P, насыщенности вытесняющей жидкости s и концентрации примеси C вытекают из законов фильтрации фаз, сохранения массы фаз и примеси. Пусть X и T — координата и время, $0 \leqslant X \leqslant L$, $T \geqslant 0$, K и m — абсолютная проницаемость и пористость; $f_j(s, C)$ и $\mu_j(C)$ — относительная проницаемость и вязкость j-й фазы, индексы $j=1$ и 2 относятся к вытесняемой и вытесняющей фазам соответственно, $F(s, C) = \mu f_2 (f_1 + \mu f_2)^{-1}$, $\mu(C) = \mu_1 \mu_2^{-1}(C)$, суммарная скорость фильтрации

$$U = -K\left(\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2}\right)\frac{\partial P}{\partial X} > 0.$$

Тогда, переходя к безразмерным переменным $x=X/L$, $t=T/T_*$, $p=P/P_*$, $u=U/U_*$, $c=C/C_*$, $k=K/K_*$, $a=A/A_*$, где K_*, U_*, C_* — характерные абсолютная проницаемость, скорость

8 № Заказа 4957

фильтрации и концентрации примеси, $T_* = mL/U_*$, $P_* = U_* \mu_1 L / K A_* = mC_*$ и, принимая $m = \text{const}$, можно записать краевую задачу для определения давления, насыщенности и концентрации в виде (ср., например, с [4, 5])

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[k(f_1 + \mu f_2)\frac{\partial p}{\partial x}\right] = 0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u\frac{\partial F}{\partial x} = 0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(sc + a) + u\frac{\partial (Fc)}{\partial x} = 0, \tag{3}$$

$$s(x, 0) = s_0(x),\ c(x, 0) = c_0(x), \tag{4}$$

$$s(0, t) = s^0(t),\ c(0, t) = c^0(t),\ p(1, t) = p_1(t), \tag{5}$$

$$p(0, t) = p_0(t) \text{ или } u = u_0(t),$$

где суммарная скорость фильтрации $u = u(t) = -k(f_1 + \mu f_2)\partial p/\partial x$ не зависит от пространственной координаты x.

Для численного решения задач (1)—(5) вводится разностная сетка $x_i = ih$, $t^n = n\tau$, где h и τ — пространственный и временной шаги, $i = 0, 1, 2, \ldots, I$; $n = 0, 1, \ldots$ Искомые функции p, s и c в узлах (x_i, t^n) далее обозначаются p_i^n, s_i^n, c_i^n соответственно, а $F(s_i^n, c_i^n) = F_i^n$ и т. д. Распределения p_i^n, s_i^n, c_i^n рассчитываются в следующей последовательности: из уравнения (1) и условий для давления на границах $x = 0$ и $x = 1$ с использованием s_i^n и c_i^n определяются значения p_i^n и затем u_i^n; из уравнений (2) с учетом граничного условия для s и с использованием s_i^n, c_i^n, u_i^n — рассчитываются значения s_i^{n+1}, и наконец, из (3) с учетом граничного условия для c определяются c_i^{n+1}. Затем процедура повторяется, причем, если задано u_0, распределения давления p_i^n рассчитываются только в те моменты времени t^n, когда это необходимо.

Опишем некоторые результаты методических расчетов. Значения давления p_i^n могут рассчитываться или методом прогонки непосредственно из системы трехточечных разностных уравнений, аппроксимирующих (1), или по рекуррентным формулам, приведенным в [6]. Проведены методические расчеты, в которых изучалась точность определения давления. Рассматривался случай, когда на границе задана скорость $u_0(t)$; для нескольких моментов времени по аналогии с [4, 5] строились аналитические решения и затем уравнение (1) интегрировалось, а полученное решение принималось за эталонное. Сопоставление разностных решений с эталонными, когда p_i^n рассчитывались, а s_i^n, c_i^n задавались из аналитических решений, показало, что относительная погрешность расчета давления на сетках с числом узлов более 25 не превышает 5%, на сетках с $h \leqslant 0{,}02$ — погрешность меньше 1%. Заметим, что хотя локальные значения градиентов давления могут заметно отличаться от эталонных, суммарная

скорость фильтрации рассчитывается, таким образом, с точностью такого же порядка, как и давление.

Разностные аппроксимации уравнения (2), используемого для определения насыщенности, изучались в ряде работ, обзор которых имеется в [7]. В [7] также обсуждаются результаты методических исследований применимости разностных схем для расчета насыщенности в задачах вытеснения ньютоновской нефти водой и водными растворами с примесями. Численные решения сопоставляются с аналитическими в случае, когда задана суммарная скорость фильтрации, давление не рассчитывается, концентрация задается из аналитического решения. Обобщая проведенные сопоставления, можно отметить, что применение явной уголковой схемы для расчета насыщенности на «грубых» сетках допустимо только в случаях, когда решения нужны для оценки интегральных характеристик. При расчете только насыщенности, когда распределения концентрации задаются, более предпочтительной, чем уголковая схема, является так называемая двухточечная, которая воспроизводит решение несколько точнее, что особенно проявляется в задачах довытеснения (ср. также [8]).

Рассмотрим некоторые разностные аппроксимации, используемые для расчета насыщенности вытесняющей фазы и концентрации примеси, принимая, что суммарная скорость фильтрации задана $u_0 = \text{const} = 1$. Ниже изучаются только явные схемы сквозного расчета на постоянном шаблоне. Схемы с переменным шаблоном изучались в [9, 10].

Благодаря использованию явных схем, не возникает трудностей расщепления системы (2), (3). Насыщенность s_i^{n+1} рассчитывается с помощью уголковой или двухточечной схемы. Для расчета концентрации применяются двухслойные или схемы с пересчетом типа предиктор—корректор.

На каждом временном шаге первым этапом является определение насыщенности, которая находится из разностного уравнения

$$\frac{s_i^{n+1} - s_i^n}{\tau} + \frac{F_{i+1/2}^n - F_{i-1/2}^n}{h} = 0,$$

где $F_{i+1/2}^n = F_i^n$, $F_{i-1/2}^n = F_{i-1}^n$, если используется схема явный левый уголок, а для двухточечной схемы

$$F_{i+1/2}^* = 1{,}5F_i^n - 0{,}5F_{i-1}^n$$

$$F_{i+1/2}^n = 0, \text{ если } F_{i+1/2}^* < 0,$$

$$F_{i+1/2}^n = 1, \text{ если } F_{i+1/2}^* > 1,$$

$$F_{i+1/2}^n = F_{i+1/2}^*, \text{ если } 0 \leqslant F_{i+1/2}^* \leqslant 1,$$

и $F_{i-1/2}^n$ рассчитываются аналогично.

После определения насыщенности рассчитываются значения концентрации c_i^{n+1}. Для этого тестируются схемы:

явный левый уголок с антивязкостью (см., например, [11]) —

$$\frac{s_i^{n+1}c_i^{n+1}+a_i^{n+1}-(s_i^n c_i^n+a_i^n)}{\tau}+\frac{F_i^n c_i^n-F_{i-1}^n c_{i-1}^n}{h}+$$

$$+\frac{\varkappa}{2h}\left[\left(1-\frac{\tau}{h}\frac{F_{i+1/2}^n}{s_{i+1/2}^n}\right)(F_{i+1}^n c_{i+1}^n-F_i^n c_i^n)-\left(1-\frac{\tau}{h}\frac{F_{i-1/2}^n}{s_{i-1/2}^n}\right)\right.$$

$$\left.(F_i^n c_i^n-F_{i-1}^n c_{i-1}^n)\right]=0,$$

$$\varkappa=\text{const},\quad 0\leqslant\varkappa\leqslant 1,\quad s_{i+1/2}^n=0{,}5\,(s_i^n+s_{i+1}^n);$$

двухточечная [12] —

$$\frac{s_i^{n+1}c_i^{n+1}+a_i^{n+1}-(s_i^n c_i^n+a_i^n)}{\tau}+\frac{(Fc)_{i+1/2}^n-(Fc)_{i-1/2}^n}{h}=0,$$

$$(Fc)_{i+1/2}^*=1{,}5F_i^n c_i^n-0{,}5F_{i-1}^n c_{i-1}^n,$$

$$(Fc)_{i+1/2}^n=0,\text{ если }(Fc)_{i+1/2}^*<0,$$

$$(Fc)_{i+1/2}^n=1,\text{ если }(Fc)_{i+1/2}^*>1,$$

$$(Fc)_{i+1/2}^n=(Fc)_{i+1/2}^*,\text{ если }0\leqslant(Fc)_{i+1/2}^*\leqslant 1,$$

а также схемы типа предиктор—корректор:

«чехарда» с недивергентным предиктором —

$$\frac{\tilde{c}_{i+1/2}-\frac{1}{2}(c_i^n+c_{i+1}^n)}{\alpha\tau}+\left(\frac{F}{s+a'}\right)_{i+1/2}^n\frac{c_{i+1}^n-c_{i}^n}{h}=0,$$

$$\frac{s_i^{n+1}c_i^{n+1}+a_i^{n+1}-(s_i^n c_i^n+a_i^n)}{\tau}+\frac{\tilde{F}_{i+1/2}\tilde{c}_{i+1/2}-\tilde{F}_{i-1/2}\tilde{c}_{i-1/2}}{h}=0,$$

$$\left(\frac{F}{s+a'}\right)_{i+1/2}^n=\frac{1}{2}\left(\frac{F_i^n}{s_i^n+a_i'^n}+\frac{F_{i+1}^n}{s_{i+1}^n+a_{i+1}'^n}\right),\quad a'=\frac{da}{dc},$$

$$\tilde{F}_{i+1/2}=0{,}5\,(F_i^n+F_{i+1}^n),\ \alpha\geqslant 0{,}5,\ \alpha=\text{const},$$

«чехарда» с дивергентным предиктором —

$$\frac{\tilde{s}_{i+1/2}\tilde{c}_{i+1/2}+\tilde{a}_{i+1/2}-1/2\,(s_i^n c_i^n+a_i^n+s_{i+1}^n c_{i+1}^n+a_{i+1}^n)}{\alpha\tau}+$$

$$+\frac{F_{i+1}^n c_{i+1}^n-F_i^n c_i^n}{h}=0,$$

$$\frac{s_i^{n+1}c_i^{n+1}+a_i^{n+1}-(s_i^n c_i^n+a_i^n)}{\tau}+\frac{\tilde{F}_{i+1/2}\tilde{c}_{i+1/2}-\tilde{F}_{i-1/2}\tilde{c}_{i-1/2}}{h}=0,$$

$$\tilde{F}_{i+1/2}=F(\tilde{s}_{i+1/2},\ \tilde{c}_{i+1/2}).$$

Из записанных выше разностных уравнений неизвестные значения c_i^{n+1} находятся на каждом временном слое последовательно слева направо. При этом если адсорбция описывается изотермой Генри $a=\Gamma c$, то для c_i^{n+1} в каждом узле имеем линейное уравнение относительно неизвестного значения концентрации. В случае изотермы Ленгмюра $a=\Gamma_1 c(\Gamma_2+\Gamma_3 c)^{-1}$ искомые значения c_i^{n+1} находятся, как один из корней квадратного уравнения. Для других изотерм может оказаться, что в каждой точке $(x_i,\ t^n)$ разностное уравнение для c_i^{n+1} будет трансцендентным и тогда для нахождения известного значения концентрации необходимо использовать итерационные методы.

Приведенные выше разностные схемы для расчета насыщенности и концентрации являются условно устойчивыми, условия устойчивости общеизвестны, они выписаны, например, в [9].

Некоторые результаты сопоставления численных и эталонных аналитических решений представлены на рис. 1—4. Расчеты проводились с использованием зависимостей $f_j(s,\ c)$ и $\mu_2(c)$, приведенных в любой из упоминавшихся выше работ [7, 8, 12], на сетке с $h=1/40$, если это не оговорено отдельно, когда принята изотерма Генри и $s_a=a(1)-a(0)=0{,}05$. В [12] представлены результаты сопоставления с аналитическими численных решений, полученных с использованием двухслойных схем, для задач вытеснения и довытеснения при закачке примеси постоянно или оторочкой. Ниже приводятся результаты только для задачи вытеснения, когда закачивается оторочка размера 0,1 порового объема. Решения даны в моменты $t=0{,}2$; 0,4 и 0,8. На графиках пунктиром показаны аналитические решения, сплошными — численные. В пояснениях типа $k-x,\ y,\ z$ приняты обозначения: k — номер кривой; $x,\ y$ — номера схем, по которым рассчитываются s и c; z — признак корректировки значений c_i^{n+1}; $x=1$ — схема явный левый уголок, $x=2$ — двухточечная; $y=1$ — схема явный левый уголок с антивязкостью, $y=2$ — двухточечная схема, $y=5$ и 6 — «чехарда» с недивергентным и дивергентным предикторами; если $z=0$, значения c_i^{n+1} не корректируются, если $z=1$ значения $c_i^{n+1}<0$ заменяются на $c_i^{n+1}=0$, если $z=2$, $c_i^{n+1}>1$ заменяются на $c_i^{n+1}=1$, при $z=3$ значения меньше минимального или больше максимального заменяются на соответствующие предельные. При проведении всех расчетов контролировалось выполнение балансов массы вытесняющей фазы и примеси. Относительная погрешность по этим балансам не превышала 3%.

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчетов по схемам двухточечной для насыщенности и явный левый уголок с антивязкостью для концентрации. Как отмечалось в [11], параметр $\varkappa$ следует выбирать не больше 0,5. Однако, если производить «усечение» выбросов ($z=3$), расчеты можно вести с $\varkappa>0{,}5$ и при этом, как следует из рис. 2, точность решений повышается.

Результаты расчетов насыщенности и концентрации по двухточечным схемам показаны на рис. 3, где также приведены ре-

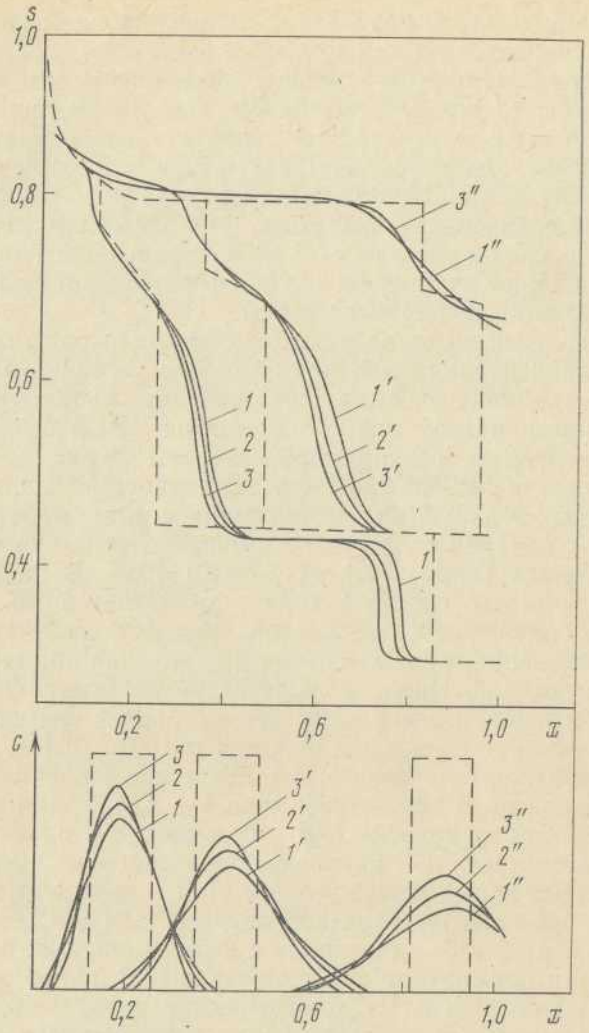


Рис. 1. Результаты расчетов по схемам двухточечной для насыщенности и явный левый уголок с антивязкостью (без корректировки) для концентрации
1 — $\varkappa=0$, *2* — $\varkappa=0{,}3$, *3* — $\varkappa=0{,}5$

шения, полученные на сетке с $h=1/80$ (при соответствующем уменьшении вдвое временного шага τ), и для сопоставления показано полученное на такой же сетке решение, когда концентрация рассчитывается по уголковой схеме с антивязкостью $\varkappa=1$. Как следует из графиков, концентрация по двухточечной и уголковой схеме с антивязкостью рассчитывается примерно с одинаковой точностью. Однако в случае использования уголковой схемы несколько хуже рассчитывается насыщенность, причем

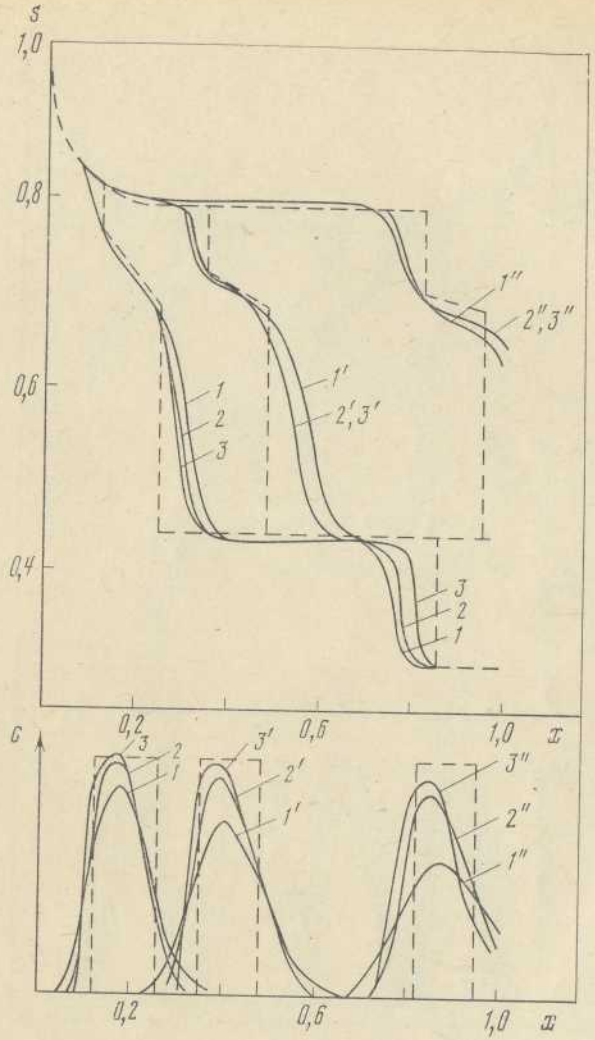


Рис. 2. Результаты расчета насыщенности по двухточечной схеме, концентрации по схеме явный левый угол с антивязкостью и с «усечением» выбросов в c_i^{n+1}

1 — $\varkappa=0{,}7$, *2* — $\varkappa=1{,}0$, *3* — $\varkappa=1{,}0$

уменьшение шага τ не приводит к устранению выбросов в профиле насыщенности в окрестности скачка, соответствующего тылу оторочки.

Решения, полученные по схемам двухточечной и двум приведенным выше версиям схемы «чехарда», показаны на рис. 4, где также для сравнения дано численное решение, полученное с использованием двухточечных схем. Расчеты по схемам с пересчетом проводились без и с «усечением» выбросов. Если «усе-

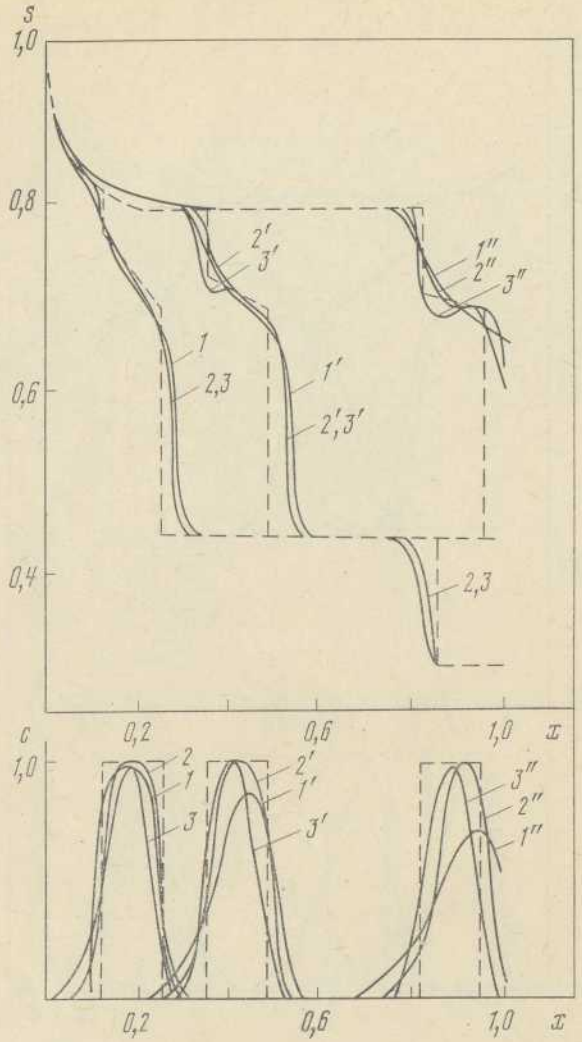


Рис. 3. Результаты расчетов насыщенности по двухточечной схеме, концентрации по двухточечной схеме (*1* и *2*) и по явной уголковой схеме с антивязкостью и корректировкой с $\varkappa=1$ (*3*)

1 — $h=1/40$; *2*, *3* — $h=1/80$

чение» не производится, имеют место осцилляции перед разрывом и за ним, т. е. перед фронтом и за тылом оторочки примеси. «Погасить» эти колебания подбором параметра α не удается. Результаты, полученные по обсуждаемым схемам, сопоставлялись с результатами расчета, когда насыщенность определялась не по двухточечной, а по уголковой схеме. Различие решений в

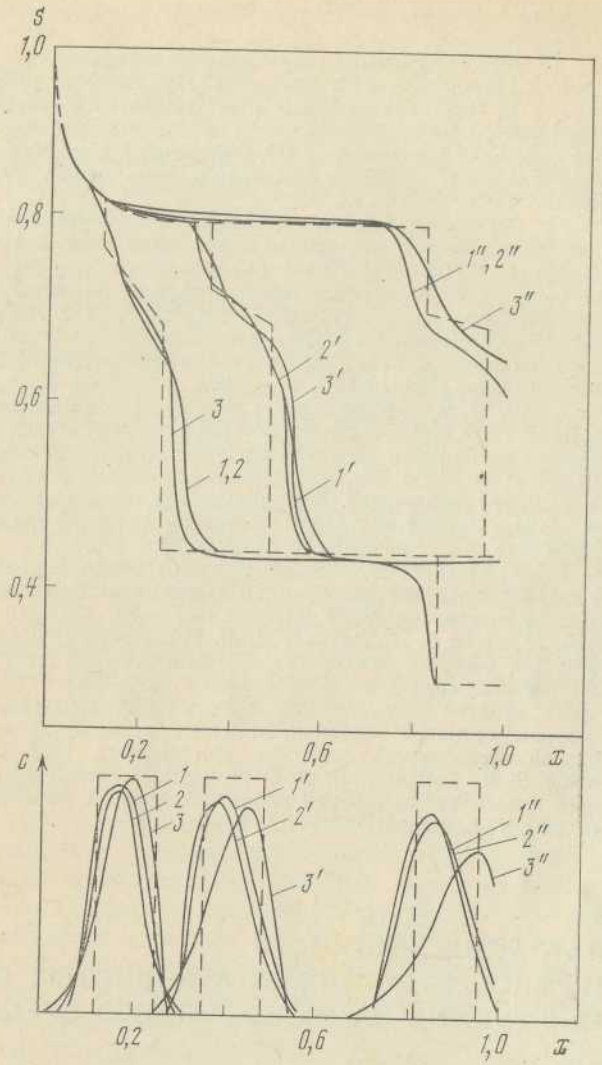


Рис. 4. Результаты расчета насыщенности по двухточечной схеме и концентрации по двухточечной схеме (без корректировки) (*3*), по различным версиям схемы «чехарда» с усечением выбросов c_i^{n+1} (*1* и *2*)

профилях концентрации незначительное, профили насыщенности несколько ближе к эталонным для решений, полученных в случае применения для расчета насыщенности уголковой схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ентов В. М.* Физико-химическая подземная гидродинамика — новые результаты теории//Динамика многофазных сред. Новосибирск, 1983. С. 9—22.
2. *Коновалов А. Н.* Задачи фильтрации многофазной несжимаемой жидкости. Новосибирск: НГУ, 1972. 128 с.
3. *Никанович Я. Н., Таранчук В. Б.* О некоторых разностных схемах для численного решения задачи мицеллярного вытеснения//Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1981. 45 с.
4. *Ентов В. М.* Физико-химическая гидродинамика процессов в пористых средах: (Математические модели методов повышения нефтеотдачи пластов): Препр ИПМ АН СССР № 161. М., 1980. 64 с.
5. *Бедриковецкий П. Г.* Вытеснение нефти оторочкой активной примеси, продвигаемой по пласту водой//Изв. АН СССР. МЖГ. 1982. № 3. С. 102—111.
6. *Клевченя А. А., Таранчук В. Б.* Об одном разностном методе для одномерных задач вытеснения вязкопластической нефти водой//Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1984. № 1. С. 105—107.
7. *Таранчук В. Б.* О разностных схемах для расчета насыщенности в задачах линейной и нелинейной фильтрации двух несмешивающихся несжимаемых жидкостей при отсутствии или наличии активной примеси. 45 с. Деп. в БелНИИНТИ № 695Бе-Д83.
8. *Никанович Я. Н., Таранчук В. Б.* О повышении точности расчета насыщенности в задачах вытеснения нефти раствором активной примеси//Динамика многофазных сред. Новосибирск, 1983. С. 270—275.
9. *Зайдель Я. М., Леви Б. И.* Численные схемы решения уравнений двухфазной трехкомпонентной фильтрации/Численные методы механики сплошной среды. Новосибирск, 1980. Т. 11, № 5. С. 75—89.
10. *Санкин В. М., Леви Б. И., Зайдель Я. М.* Разностные схемы с переменным шаблоном для решения уравнений многокомпонентной фильтрации//Динамика многофазных сред. Новосибирск, 1983. С. 276—282.
11. *Ентов В. М., Хавкин А. Я., Чен-Син Э.* Расчеты процессов вытеснения нефти раствором активной примеси//Численное решение задач фильтрации многофазной несжимаемой жидкости. Новосибирск, 1977. С. 87—96.
12. *Жуковский В. В., Таранчук В. Б.* О разностных схемах для расчета концентрации в задачах вытеснения нефти раствором с добавками активной примеси. 43 с. Деп. в БелНИИНТИ № 304Бе-Д84.

УДК 532.546

ФИЛЬТРАЦИЯ ЖИДКОСТИ И ПЕРЕНОС СУБСТАНЦИЙ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

М. Г. Хубларян

Влияние изменения фильтрационного режима и выброса загрязнений на природную среду. Антропогенное воздействие на водную среду ведет к нарушению естественного режима речного стока и бассейнов подземных вод. Интенсивное развитие промышленности, энергетики, транспорта, сельского и коммунального хозяйства приводит к непрерывному увеличению выброса загрязнений в гидросферу. Строительство гидротехнических сооружений, водохранилищ, мелиоративных систем оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на природную среду.

Вода в конечном счете является носителем и наряду с землей аккумулятором всех загрязнений. И если учесть образное выражение В. И. Вернадского, «все природные воды, где бы они ни находились, теснейшим образом связаны между собой и представляют единое целое», то станет очевидным, насколько важное место в формировании речного стока, потоков подземных вод и в процессах химического и теплового загрязнения занимают фильтрационные течения.

Объем сточных вод, сбрасываемых в водные объекты во всем мире, достигает 300 млрд. м^3 в год. Сточные воды тепловых и атомных электростанций вызывают тепловое загрязнение. В целях получения более высоких урожаев интенсифицируется химизация сельского хозяйства. Происходит также химизация жилой среды человека (моющие средства, синтетические вещества и др.). В водоемы ежегодно выливается несколько миллионов тонн нефти и различных кислот, сотни тысяч тонн фенолов и других токсичных веществ.

Процессы переноса и смешения соленых морских вод с пресными подземными водами происходят как в естественных условиях, так и в особенности при нарушенном режиме подземных вод, когда в больших объемах отбираются подземные воды и снижается их уровень или напор. Определение скорости продвижения по пласту вторгшихся морских вод и положения границы раздела пресных и соленых вод, помимо гидродинамического интереса, имеет природоохранное и народнохозяйственное значение.

Регулирование речного стока для целей гидроэнергетики и гидромелиорации путем создания водохранилищ, которых только в нашей стране в настоящее время насчитывается более тысячи, строительство гидротехнических сооружений привело к коренному изменению водного режима прилегающих территорий. В бассейнах равнинных рек происходит затопление больших площадей пойм и речных долин, наиболее ценных для сельского хозяйства. Вокруг водохранилищ поднимается уровень грунтовых вод, что приводит к заболачиванию и подтоплению прилегающей территории и изменению ее флоры и фауны, выводу из строя гражданских и промышленных объектов, дорожной сети, коммуникаций и пр. В аридной зоне наряду с процессом заболачивания происходит засоление верхних горизонтов почв.

В нижнем бьефе гидротехнических сооружений наблюдается обратная картина — на прилегающей к речному руслу территории уровень грунтовых вод падает, что может привести к ухудшению водного режима растений.

Фактов и примеров такого рода как в мировой практике, так и у нас в стране немало. Достаточно упомянуть большой размах в строительстве водохранилищ и оросительных систем в Средней Азии, на Украине и в Краснодарском крае, где имел место подъем уровня грунтовых вод.