



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

12.97

НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ДЕЛО

ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ:

- ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ
- ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛАСТ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ
- ТЕКУЩИЙ И КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ СКВАЖИН
- НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
- ИНФОРМАЦИЯ



МОСКВА

НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ДЕЛО

Научно-технический журнал

Издается с 1993 г.

Декабрь 1997 г.

№ 12

Выходит 12 раз в год

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ

Хисамутдинов Н. И., Хасанов М. М., Ибрагимов Г. З., Телин А. Г., Доломатов М. Ю., Скороход А. Г., Левин Ю. А., Зайнетдинов Т. И., Смолянец Е. Ф., Кольчугин И. С., Тазиев М. И., Магалимов А. А., Нурмухаметов Р. С., Тахаутдинов Ш. Ф., Жеребцов Е. П. Влияние техногенных факторов на физико-гидродинамические характеристики и технологические процессы добычи нефти 2

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛАСТ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Телин А. Г., Зайнетдинов Т. И., Хасанов М. М., Хакимов А. М., Бачин С. И. Регулирование процесса набухания глин в условиях заводняемого нефтяного пласта 11
Ермаков П. П., Еремин Н. А. Математические модели использования азота для увеличения нефтеотдачи 18

ТЕКУЩИЙ И КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ СКВАЖИН

Хлебников В. Н., Уметбаев В. Г., Логинов А. Б., Назметдинов Р. М., Камалетдинова Р. М. Использование солесодержащих вторичных ресурсов в качестве цементных растворов ... 21

НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Ивановский В. Н., Дарищев В. И., Каиштанов В. С., Сабиров А. А., Пекин С. С. Опыт создания и применения комплексной системы диагностики нефтепромыслового оборудования 25

ИНФОРМАЦИЯ

К 125-летию со дня рождения крупного ученого И.Н.Стрижева 29
Перечень статей, опубликованных в научно-техническом журнале "Нефтепромысловое дело" в 1997 году 35

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Хачатуров Р. М. (главный редактор), Глазова В. М. (зам. главного редактора), Башин В. С., Бекова О. Е., Егоров Б. М., Ибрагимов Г. З., Лесничий В. Ф., Миронов Т. П., Николаев Б. А., Пчелинцев Ю. В., Шарифуллин Ф. М.

Ведущие редакторы:

Б.И. Плужников, И.А. Ермалинская

Компьютерный набор

И. В. Смолина

Компьютерная верстка

Е. В. Кобелькова

Корректор

Н. Г. Евдокимова

Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 020439 от 28.02.97.

Адрес редакции: 117420 Москва, ул. Наметкина, 14, корп. Б, ОАО "ВНИИОЭНГ". Тел. ред. 332-00-35.

Подписано в печать 31.10.97.

Формат 84×108 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,20.

Уч.-изд. л. 4,27. Тираж 375 экз. Заказ № 105.

Цена свободная. ВНИИОЭНГ № 4649.

Печатно-множительная база

ОАО "ВНИИОЭНГ".

113162 Москва, Хавская, 11.

ОАО "ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ"

- породных пластов // Нефтепромысл. дело. — М.: ВНИИОЭНГ, 1995. — № 8–10. — С.36–38.
3. Особенности разработки нефтяных месторождений с глинодержащими коллекторами / А.Я. Хавкин, А.Г. Ковалев, В.Е. Ступоченко и др. — М., 1990. — 60 с. — (Обзор. информ. / ВНИИОЭНГ. Сер. "Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений").
4. Хисамутдинов Н.И. О некоторых направлениях научных исследований в области разработки месторождений Западной Сибири с трудноизвлекаемыми запасами // Нефтепромысл. дело. — М.: ВНИИОЭНГ, 1995. — № 8–10. — С.5–7.
5. Оценка факторов, влияющих на коэффициенты вытеснения нефти для условий месторождений АО "Юганскнефтегаз" / А.Г. Телин, А.М. Хакимов, А.Г. Ско-

- роход, Н.И. Хисамутдинов и др. // Нефт. хоз-во. — 1994. — № 2. — С. 32–35.
6. Разработка нефтяных месторождений на поздней стадии / Н.И. Хисамутдинов, М.М. Хасанов, А.Г. Телин, Г.З. Ибрагимов, А.П. Латылов, А.М. Потапов. — М.: ВНИИОЭНГ, 1994. — Т.1. — 231 с.
7. Мирзаджанзаде А.Х., Султанов Ч.А. Диакоптика процессов нефтеотдачи пластов // Баку: Азербайджан, 1995. — С. 85–92.
8. Федер Енс. Фракталы. — М.: Мир, 1991. — 260 с.
9. Тобольский А. Свойства и структура полимеров / Пер. с англ.; Под ред. Г.Л. Слонимского и Г.М. Бартеньева. — М.: Химия, 1964. — 322 с.

УДК 622.276.6

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

П.П. Ермаков
(ГАНГ им. И.М. Губкина),
Н.А. Еремин
(ИПНГ РАН)

1. Введение

Мировой опыт разработки нефтяных и газоконденсатных месторождений свидетельствует о широком использовании неуглеводородных газов для повышения углеводородоотдачи. В качестве таких газов наиболее часто применяется углекислый газ. Намного меньше проектов разработки связано с закачкой дымовых газов (85 % азота и 15 % углекислого газа) и азота. Однако в последнее время все больше возрастает интерес к азоту как к агенту воздействия на углеводородные залежи.

Перспективность применения азота вместо природного газа и двуокиси углерода объясняется несколькими факторами. Среди них в первую очередь следует выделить следующие:

- доступность источников получения азота в промышленных масштабах (наиболее отработано производство азота из воздуха криогенным способом);
- меньшие затраты на производство азота по сравнению с двуокисью углерода (в 2...3 раза) и природным газом (в 4...8 раз);
- меньшая сжимаемость азота по сравнению с вышеперечисленными газами при высоких давлениях, а следовательно, и меньшие необходимые объемы нагнетаемого газа.

При нагнетании азота в пласт происходит многоконтakтный процесс частичного смешивания азота с пластовой нефтью. Этот процесс заключается в испарении легких компонент нефти в нагнетаемый азот. В результате этого вытеснение

нефти происходит оторочкой газа, состоящего из этой смеси. С некоторого момента этот газ начинает растворяться в нефти, с которой он в данный момент контактирует. Поэтому при вытеснении нефти азотом образуется промежуточная зона двухфазной фильтрации, размеры которой зависят от конкретных условий процесса вытеснения. Наиболее полное извлечение происходит при вытеснении легких нефтей.

2. Математические модели вытеснения нефти азотом и их численные аналоги

Вначале рассмотрим модель, описывающую двухфазную фильтрацию нефтяной и газовой фаз при нагнетании азота в пласт, ограниченный эксплуатационной и нагнетательной галереями. В условиях ограниченной смешиваемости, которая имеет место при вытеснении нефти азотом в большинстве случаев, в пласте движется многокомпонентная смесь. Предполагаем, что процесс изотермический, между фазами мгновенно устанавливается термодинамическое равновесие и константы равновесия не зависят от давления. Пренебрегаем влиянием капиллярных сил и молекулярной диффузии.

Рассмотрим сначала линейную модель фильтрации. При указанных допущениях из общих уравнений фильтрации многокомпонентной многофазной смеси, разбивая компоненты на три группы: $N_2, C_1 - C_4$ и C_{5+} , можно получить следующие уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_1 sX_{i1} + m\rho_2(1-s)X_{i2}) + \frac{\partial}{\partial x}(U\rho_1 F X_{i1} + U\rho_2(1-F)X_{i2}) = 0; \quad i=1,2,3. \quad (1)$$

$$X_{1j} + X_{2j} + X_{3j} = 1; \quad F = \frac{f_1}{\mu_1} \left(\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2} \right)^{-1};$$

$$U = K \left(\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2} \right) \frac{\Delta p}{L}; \quad j=1,2.$$

Здесь x — пространственная координата, t — время, m — пористость, U — скорость фильтрации, s — насыщенность пласта газовой фазой, X_{ij} — концентрация i -го компонента в j -й фазе, ρ_i — плотность соответствующей фазы, F — функция Баклея—Левретта, Δp — перепад давления, L — расстояние между галереями, K — абсолютная проницаемость, μ_1, μ_2 — вязкости соответственно газовой и жидкой фаз, $f_1(s)$ и $f_2(s)$ — соответствующие фазовые проницаемости.

Шесть концентраций X_{ij} связаны тремя условиями фазового равновесия и двумя условиями $X_{1j} + X_{2j} + X_{3j} = 1$, поэтому независимой из них является лишь одна. Таким образом, функция Баклея—Левретта F зависит только от насыщенности s и этой одной независимой концентрации s . Для замыкания системы должны быть известны еще зависимости $\rho_j(s)$ и $X_{ij}(s)$.

Перейдем от массовых концентраций X_{ij} к их кажущимся объемным концентрациям $Y_{ij} = \frac{\rho_j X_{ij}}{g_i}$,

где g_i — плотности “чистых” компонентов (плотность “чистых” компонентов вычисляется по известному составу компонента и плотностям индивидуальных компонентов). Тогда, считая пористость константой, получим

$$m \frac{\partial}{\partial t}(sY_{i1} + (1-s)Y_{i2}) + \frac{\partial}{\partial x}(UFY_{i1} + U(1-F)Y_{i2}) = 0; \quad i=1,2,3. \quad (2)$$

Если выполняется аддитивность парциальных объемов, т.е.

$$\sum_{i=1}^3 Y_{ij} = 1, \quad (3)$$

то, складывая уравнения, отвечающие $i=1,2$ и 3 , получаем, что суммарная скорость фильтрации U не зависит от пространственной переменной x . Из системы (2) в этом случае можно исключить уравнение сохранения в потоке одного из компонентов, например, C_{5+} .

Обозначим

$$a_i = sY_{i1} + (1-s)Y_{i2}, \quad (4)$$

$$\Phi_i = FY_{i1} + (1-F)Y_{i2}, \quad i=1,2,3. \quad (5)$$

Методом конечных разностей решается система уравнений (2) со следующими начальными и краевыми условиями

$$a_1 = a_1^0, \quad a_2 = a_2^0 \quad \text{при } t=0; \quad a_1 = 1,$$

$$a_2 = 0 \quad \text{при } t>0 \text{ и } x=0.$$

В качестве конечно-разностного аналога системы (2) возьмем

$$(a_k)_i^{j+1} = (a_k)_i^j - \frac{\Delta \tau U^j}{\Delta x m} [(\Phi_k)_i^j - (\Phi_k)_{i-1}^j], \quad (6)$$

$$k=1,2.$$

где i — номер узла сетки по x , j — номер временного слоя, Δx — шаг сетки по x , $\Delta \tau$ — шаг сетки по t , $(a)_i^j = a(x_i, \tau_j)$.

Решение на каждом временном слое осуществляется в следующей последовательности. Используя распределение насыщенностей и концентраций на предыдущем временном слое по формуле (6) находим значения a_1 и a_2 на новом временном слое. Затем находим распределение насыщенностей и концентраций, решая систему уравнений, состоящую из (3), (4) и трех условий фазового равновесия, которые в наиболее простом случае имеют вид $Y_{11} = \lambda_1 Y_{12}$, $Y_{21} = \lambda_2 Y_{22}$, $Y_{31} = \lambda_3 Y_{32}$. Здесь $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ — константы равновесия. Естественно, из решений надо выбирать те, которые имеют физический смысл, т.е.

$$0 \leq s \leq 1, \quad 0 \leq Y_{ij} \leq 1.$$

Аналогично применяется данная модель для двух- и трехмерной фильтрации. В исходном уравнении (1) производная по x заменяется оператором дивергенции. В этом случае получаем

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_1 sX_{i1} + m\rho_2(1-s)X_{i2}) + \operatorname{div}(U\rho_1 F X_{i1} + U\rho_2(1-F)X_{i2}) = 0; \quad i=1,2,3. \quad (7)$$

Разностная схема для многомерной фильтрации строится аналогично

$$(a_k)_{ir}^{j+1} = (a_k)_{ir}^j - \frac{\Delta \tau U^j}{\Delta x m} [(\Phi_k)_{ir}^j - (\Phi_k)_{i-1,r}^j] - \frac{\Delta \tau U^j}{\Delta y m} [(\Phi_k)_{ir}^j - (\Phi_k)_{i,r-1}^j], \quad k=1,2. \quad (8)$$

$$(a_k)_{irn}^{j+1} = (a_k)_{irn}^j - \frac{\Delta \tau U^j}{\Delta x m} [(\Phi_k)_{irn}^j - (\Phi_k)_{i-1,rn}^j] - \frac{\Delta \tau U^j}{\Delta y m} [(\Phi_k)_{irn}^j - (\Phi_k)_{i,r-1,n}^j] - \frac{\Delta \tau U^j}{\Delta z m} [(\Phi_k)_{irn}^j - (\Phi_k)_{ir,n-1}^j], \quad k=1,2. \quad (9)$$

Формула (8) соответствует двумерной, (9) — трехмерной фильтрации. Здесь i — по-прежнему номер узла сетки по x , j — номер временного слоя, Δx — шаг сетки по x , $\Delta \tau$ — шаг сетки по t , r и n — номера узлов сеток по y и z соответственно, Δy и Δz — шаги сеток по y и z .

Алгоритм решения остается тем же самым, только увеличивается число точек, в которых необходимо решать систему уравнений — добавляется прогонка в направлениях y и z .

Несколько отличается от вышеизложенной модель трехфазной фильтрации, когда в пласт нагнетается газированная вода, т.е. вода с растворенным в ней азотом. В этом случае удобно ввести следующие величины: c_l — концентрации азота в фазе l ; s_l — насыщенность фазы l . Компонентами являются азот, нефть и вода. Система уравнений здесь аналогична системе (1), но поскольку имеется уже три фазы, то величины под дифференциалами будут несколько другими. Дифференциал по времени берется от "общей" концентрации компонента во всех трех фазах. Эти "общие" концентрации имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} z_1 &= c_g s_g + c_o s_o + c_w s_w, \\ z_2 &= (1 - c_g) s_g + (1 - c_o) s_o, \\ z_3 &= (1 - c_w) s_w. \end{aligned} \quad (10)$$

Индексы g, o, w относятся соответственно к газовой, нефтяной и водной фазам. Дифференциал по пространственной переменной берется от произведения скорости фильтрации U на долю компонентов в потоке. Эти доли компонентов в потоке имеют вид, аналогичный (10):

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= F_g s_g + F_o s_o + F_w s_w, \\ \Phi_2 &= (1 - F_g) s_g + (1 - F_o) s_o, \\ \Phi_3 &= (1 - F_w) s_w, \\ F_l &= \frac{f_l}{\mu_l} \varphi, \quad \varphi = \left(\frac{f_g}{\mu_g} + \frac{f_o}{\mu_o} + \frac{f_w}{\mu_w} \right)^{-1}, \\ l &= g, o, w. \end{aligned} \quad (11)$$

Поскольку система дифференциальных уравнений имеет принципиально тот же вид, что и в

предыдущей модели, то конечно-разностная схема не претерпела изменений. Связь между концентрациями задается, как и ранее, с помощью констант равновесия:

$$c_o = \lambda_o c_w, \quad c_g = \lambda_g c_w, \quad 1 - c_g = \lambda(1 - c_o).$$

3. Результаты моделирования

Ниже представлены качественные результаты, полученные при расчете по предложенным моделям. На рис.1 изображен характерный профиль насыщенности при вытеснении нефти азотом. На рис.2 — профили насыщенностей нефтяной, газовой и водной фаз при вытеснении нефти газированной водой, насыщенной азотом. Как легко заметить, профили нефтяной фазы имеют соответствующий теории Баклея—Левретта вид с двумя скачками.

Результаты моделирования двухфазной фильтрации хорошо согласовываются с экспериментальными исследованиями процесса многокон-

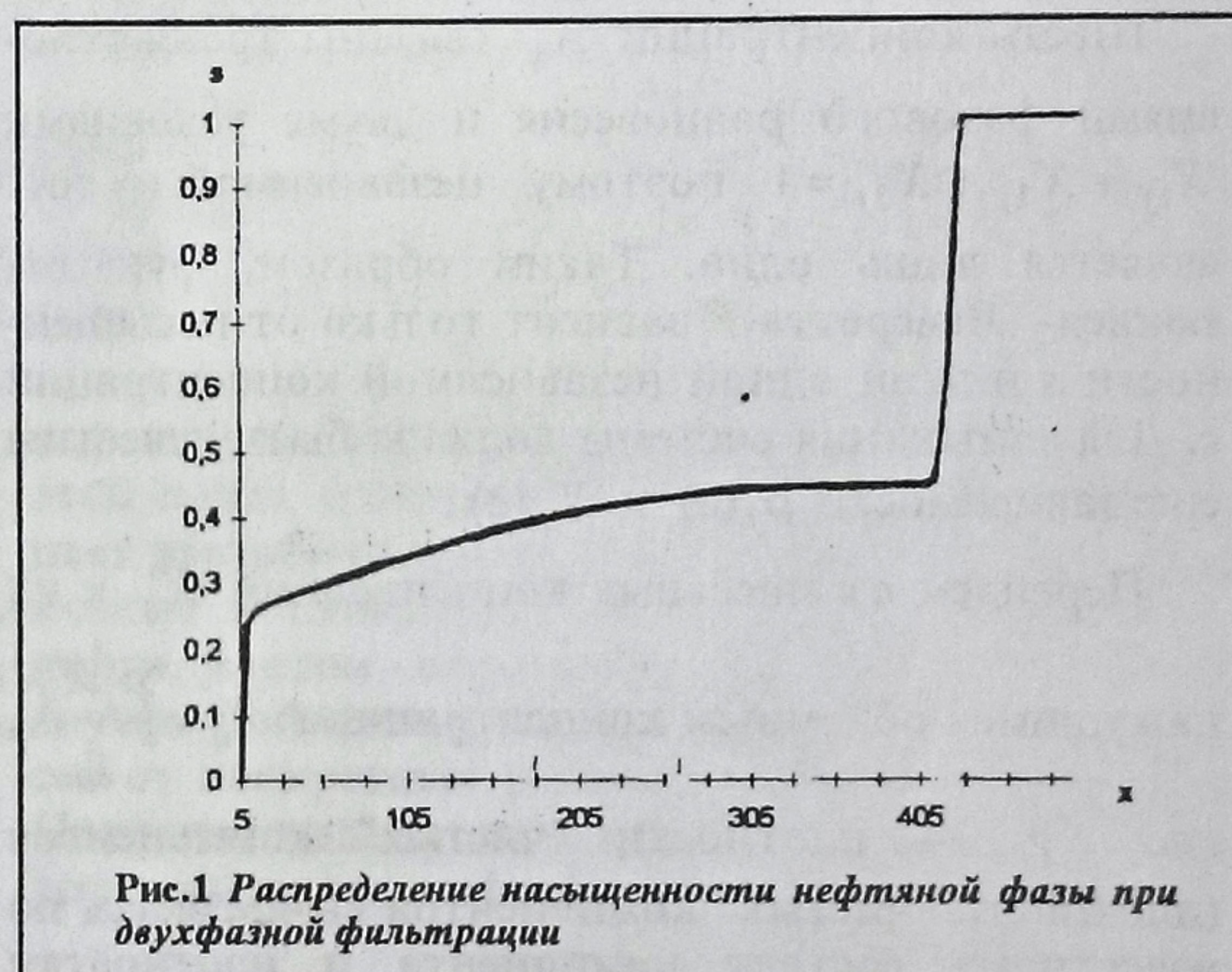


Рис.1 Распределение насыщенности нефтяной фазы при двухфазной фильтрации

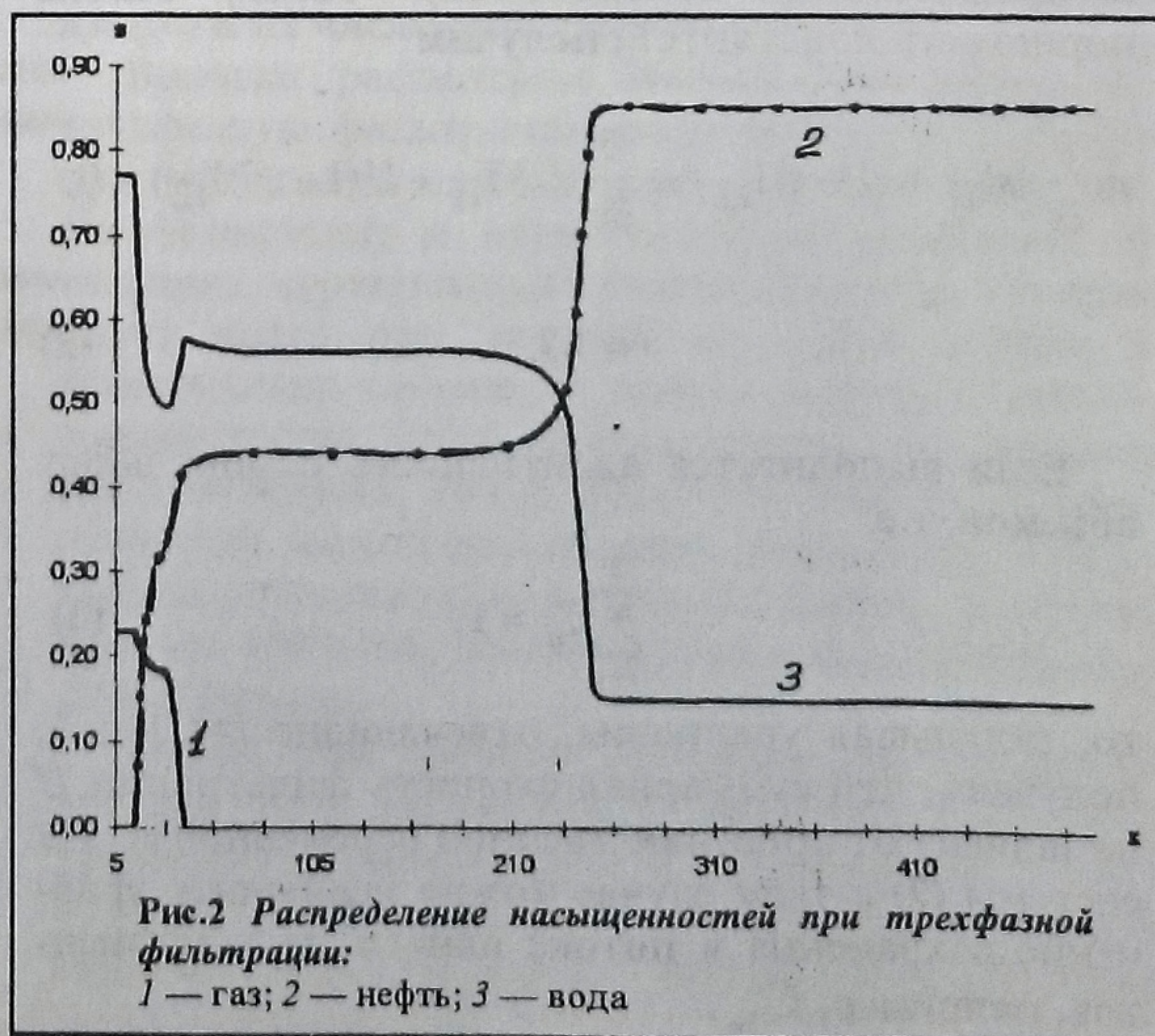


Рис.2 Распределение насыщенностей при трехфазной фильтрации: 1 — газ; 2 — нефть; 3 — вода

тактного многокомпонентного вытеснения нефти азотом. Азот, смешиваясь с пластовой нефтью, постепенно обогащается метаном, n-бутаном и парами легких фракций нефти. С другой стороны, эта газовая смесь растворяется в вытесняемой ею нефти. В результате образуется переходная зона газожидкостной смеси, в которой происходят активные межфазные перетоки компонентов между фазами.

4. Заключение

В данной работе развивается математическая модель вытеснения нефти азотом с учетом расчета процесса межфазного перехода. В численной схеме, соответствующей представленной модели, в каждой точке производится расчет констант равновесия в зависимости от состава фаз, температуры и давления в этой точке. Все это позволяет существенно увеличить точность расчета показателей разработки.

В данной работе представлена также модель расчета процесса вытеснения нефти водой, насы-

щенной азотом. В этой модели константы равновесия в отличие от предыдущей модели не изменяются от точки к точке, а остаются постоянными. Это связано со сложностью расчета этих величин при трехфазной фильтрации. В дальнейшем авторы надеются продолжить исследование математических моделей вытеснения нефти азотом и газированной водой и их усовершенствование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ентов В.М., Зазовский А.Ф. Гидродинамика процессов повышения нефтеотдачи. — М.: Недра, 1989. — 232 с.
2. Гуревич Г.Р., Брусиловский А.И. Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей — М.: Недра, 1984. — 264 с.
3. Тер-Саркисов Р.М., Гриценко А.И., Шандрыгин А.Н. Разработка газоконденсатных месторождений с воздействием на пласт. — М.: Недра, 1996. — 239 с.
4. Сборник научных трудов ВНИИ. — М., 1975. — Вып. 52. — 393 с.

ТЕКУЩИЙ И КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ СКВАЖИН

УДК: 622.245.42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛЕСОДЕРЖАЩИХ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В КАЧЕСТВЕ УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

В. Н. Хлебников, В. Г. Уметбаев, А. Б. Логинов, Р. М. Назметдинов, Р. М. Камалетдинова
(БашНИПИнефть)

Цементные растворы с уменьшенным сроком затвердевания широко применяются при бурении, капитальном ремонте и ликвидации нефтяных скважин. В качестве реагентов ускорителей затвердевания цементных растворов используют хлористые кальций и натрий, гидроксиды, карбонаты и силикаты калия и натрия, сульфаты натрия и алюминия и т. п. [1]. При проведении ремонтных работ в АНК "Башнефть" используют практически только хлористый кальций. На химических и нефтехимических предприятиях Башкирии образуется большое количество солесодержащих отходов, среди которых наиболее интересны карбонизированная и некарбонизированная дистиллерные жидкости (крупнотоннажный отход производства соды на Стерлитамакском АО "Сода") и алюмохлорид (ТУ 38.102163—84) — отход производства изопропилбензола методом алкилирования. В состав дистиллерных жидкостей (ДЖ) входят, главным образом, хлориды натрия и кальция, а в некарбонизированной ДЖ дополнительно содержится гидроксид кальция. Краткая характеристика ЖД приведена в табл. 1. Согласно ТУ алюмохлорид представляет собой водный раствор с содержанием хлористого алюминия 200...300 г/л,

плотностью 1181...1247 кг/м³ и рН = 0,6—2,0. В работе использовали алюмохлорид плотностью 1212 кг/м³.

Таблица 1

Характеристика ДЖ производства АО "Сода"

Показатели	Дистиллерная жидкость	
	карбонизированная	некарбонизированная
Усредненная характеристика ДЖ за 1995 г.		
Содержание, г/л:		
Ca ²⁺	38,6	40,7
Cl ⁻	104	108,3
SO ₄ ²⁻	0,69	0,72
Взвешенные частицы, г/л:	0,002	0,081
Щелочность, мг-экв./л		
ОН ⁻	0...0,066	12,7
общая	2,29	15,4
рН	7,6 (7,2—8,8)	11,1 (10,9—11,6)
Характеристика образцов ДЖ		
рН	8	11...12
Плотность, кг/м ³	1116	1118