

Consecutive Filtrations of Various Uncompressed Unmixed Liquids in Homogeneous Layer in Different Simple Flows Due to some Filtration Lows

G.G. Mammadova

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Mammadova Gulbahar / e-mail: gulbahar.mammadova@mail.ru

Abstract

Three tasks on hydrodynamic stationary filtration of two uncompressed unmixed viscous-elastic liquids taking place in various simple flows to the gallery and to the well have been solved due to the various generalized Darcy filtration low. Difference of the filtration lows is conditioned with that these viscous-elastic liquids differ due to SMS liquids values. In all tasks all main formulae characterizing the filtration process, that's filtration rate, lows distributing current pressures and current pressure gradients discharges of galleries and wells have been. It is necessary to apply these formulae when solving theoretical task for development of oil deposits, and also when designing the projects of development of new exploration deposits.

Keywords: consecutive filtration, viscous-elastic liquid, plain-parallel, plane-radial, semi-spheric, flow, filtration rate, current pressure, pressure gradients, well discharge, gallery.

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_01_52_59

For citation:

Mammadova G.G.

[Consecutive filtrations of various uncompressed unmixed liquids in homogeneous layer in different simple flows due to some filtration lows]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 52-59 (in Russian)

Müxtəlif sıxılmayan və bir-biri ilə qarışmayan mayelərin bircins layda stasionar sadə axınlarda müxtəlif qanunlarla ardıcıl süzülməsi

G.G. Məmmədova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Məmmədova Gülbahar /e-mail: gulbahar.mammadova@mail.ru

Xülasə

Məqalədə iki sıxılmayan və qarışmayan özlü plastik mayelərin hidrodinamik stasionar süzülməsi haqqında üç məsələ həll edilmişdir. Bu proseslərin hər biri ümumiləşdirilmiş Darsi süzülmə qanununa tabe olaraq qalereyada və quyuda müxtəlif sadə axınlar zamanı baş verir. Bu süzülmə qanunlarının müxtəlifliyi onunla izah olunur ki, bu özlü plastik mayelər həmin mayelərin struktur mexaniki xassələrinin (SMX) qiymətlərinə görə fərqlənirlər. Məsələlərin hər birində süzülmə prosesini xarakterizə edən, yəni süzülmə sürətinin, cari təzyiç paylanması və cari təzyiç qradiyentləri qanunlarının, qalereyanın və quyuların hesablarının əsas düsturları çıxarılmışdır.

Açar sözlər: ardıcıl süzülmə, özlü-plastik maye, müstəvi-paralel, müstəvi radial, yarımşferik radial, axın, süzülmə sürəti, cari təzyiqlər, təzyiç qradiyentləri, quyuların hasilatı, qalereya.

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_01_52_59

УДК: 622.276.52

Последовательные фильтрации несжимаемых несмешивающихся жидкостей в однородном пласте в простых потоках по различным законам фильтрации

Г.Г. Мамедова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
(пр. Азадлыг 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:

Мамедова Гюльбахар /e-mail: gulbahar.mammadova@mail.ru

Аннотация

В статье решены три задачи гидродинамической стационарной фильтрации двух несжимаемых несмешивающихся вязкопластичных жидкостей (ВПЖ) в различных простых потоках в галерее и скважине по различным обобщенным законам фильтрации Дарси. Различие законов фильтрации обуславливается тем, что эти вязкопластичные жидкости различаются по значениям СМС жидкостей. Выведены основные формулы, характеризующие процесс фильтрации, то есть скорости фильтрации, законы распределения текущих давлений и текущих градиентов давления, дебиты галереи и скважин.

Ключевые слова: последовательная фильтрация, вязкопластичная жидкость, плоско-параллельный, плоско-радиальный, полусферически-радиальный, поток, скорость фильтрации, текущие давления, градиенты давления, дебит скважин, галерея.

Введение

В статье представлены решения трех гидродинамических стационарных задач о последовательном движении различных несжимаемых несмешивающихся вязкопластичных жидкостей (ВПЖ) в однородном пласте.

Цель работы

Во всех задачах выводились все основные формулы, характеризующие процесс фильтрации, то есть скорости фильтрации, законы распределения текущих давлений и текущих градиентов давления, дебиты галереи и скважин.

В первой задаче рассмотрен случай, когда подобное последовательное движение происходит в виде плоско-параллельного потока. Здесь фильтрация различных вязкопластичных жидкостей подчиняется различным обобщенным законам Дарси [1].

На рис.1 показана схема полосообразной залежи. Здесь применяются следующие условные обозначения: L_k, B, h – длина, ширина, толщина полосообразной залежи; P_k – пластовое давление, P_q – динамическое давление в галерее; x – пространственная координата абсцисса; x_1 – текущая координата.

Ввиду несжимаемости жидкостей, неразрывности потока и постоянства расходов жидкостей, скорости фильтрации жидкостей в различных дренажных зонах полосообразной залежи равны:

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta, \text{ то есть} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\eta_1} \cdot \frac{P_k - P'}{x_1} - \frac{G_1}{\eta_1} = \frac{1}{\eta_2} \frac{P' - P_2}{L_k - x_1} - \frac{G_2}{\eta_2}$$

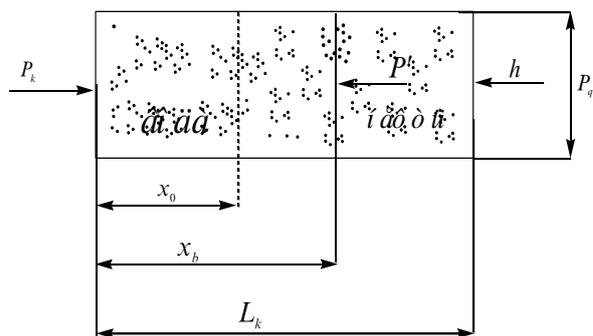


Рисунок 1 – Схема прямолинейной галереи в полосообразной нефтяной залежи

Figure 1 – Diagram of a straight gallery in a strip-like oil reservoir

Решая уравнение (1), находим неизвестную величину, т.е. давление на границе двух жидкостей P' в следующем виде:

$$P' = \frac{P_k(L_k - x_1)\eta_2 + P_q\eta_1x_1}{\eta_1x_1 + \eta_2(L_k - x_1)} - \frac{(G_1\eta_2 + G_2\eta_1)(L_k - x_1)x_1}{\eta_1x_1 + \eta_2(L_k - x_1)} \quad (2)$$

Учитывая значение P' в формуле (2), выводим следующие формулы для вычисления значений текущих давлений в зонах различных вязкопластичных жидкостей в виде:

$$P_1 = P_k - \frac{(P_k - P_q)\eta_1 + (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)(L_k - x_1)}{\eta_1x_1 + \eta_2(L_k - x_1)} \cdot x, \quad (3)$$

$$P_2 = P_q + \frac{(P_k - P_q)\eta_2 - (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)x_1}{\eta_1x_1 + \eta_2(L_k - x_1)} \times (L_k - x). \quad (4)$$

На основе различных обобщенных законов фильтрации Дарси для различных жидкостей запишем:

$$g = -\frac{k}{\eta_1} \frac{dP_1}{dx} + \frac{kG_1}{\eta_1} = -\frac{k}{\eta_2} \frac{dP_2}{dx} + \frac{kG_2}{\eta_2}. \quad (5)$$

В формулах (3) и (4), дифференцируя текущие давления P_1 и P_2 по x в различных зонах, получаем следующие выраже-

ния для текущих градиентов давления в различных зонах:

$$\frac{dP_1}{dx} = -\frac{(P_k - P_q)\eta_1 + (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)(L_k - x_1)}{\eta_1 x_1 + \eta_2(L_k - x_1)}, \quad (6)$$

$$\frac{dP_2}{dx} = -\frac{(P_k - P_q)\eta_2 - (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)x_1}{\eta_1 x_1 + \eta_2(L_k - x_1)}. \quad (7)$$

Подставляя значение $\frac{dP_1}{dx}$ из формулы

(6) в формуле (5), получаем следующую формулу для скорости фильтрации жидкостей:

$$g = \frac{k \cdot [(P_k - P_q)\eta_1 + (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)(L_k - x_1)]}{\eta_1^2 x_1 + \eta_1 \eta_2 (L_k - x_1)}. \quad (8)$$

Площадь фильтрации полоскообразной залежи будет

$$F = B \cdot h \quad (9)$$

где B – ширина залежи.

Учитывая выражение (9), находим следующую формулу для расчета дебита прямолинейной галереи:

$$Q = g \cdot B \cdot h = \frac{B \cdot k \cdot h [(P_k - P_q)\eta_1 + (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)(L_k - x_1)]}{\eta_1^2 x_1 + \eta_1 \eta_2 (L_k - x_1)}. \quad (10)$$

В теории фильтрации (в подземной гидравлике) известна следующая связь между средней истинной скоростью движения флюида в поровых каналах среды и скоростью фильтрации в виде:

$$w = \frac{g}{m} = -\frac{dx}{dt}. \quad (11)$$

Подставляя значение g из формулы (8) в формуле (11) и решая полученное дифференциальное уравнение, получаем следующую формулу для продолжительности продвижения границы двух различ-

ных жидкостей (они отличаются по значениям структурно-механических свойств):

$$t = \frac{m\eta_1}{k(G_1\eta_2 + G_2\eta_1)} \times \left\{ - \left[\eta_2 L_k + \frac{(\eta_1 - \eta_2)[(P_k - P_q)\eta_1 + (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)L_k]}{G_1\eta_2 + G_2\eta_1} \right] \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{(P_k - P_q)\eta_1 + (G_1\eta_2 + G_2\eta_1)(L_k - x_1)}{-(\eta_1 - \eta_2)(x_1 - x_0)} \right\} \quad (12)$$

За это время граница различных двух ВПЖ продвигается от своего первоначального положения « x_0 » до текущего положения « x_1 ».

При $x_1 = L_k$ в формуле (12) получаем время полного вытеснения T одной ВПЖ другой.

Во второй задаче рассмотрен случай, когда подобное последовательное движение происходит в виде плоско-радиального простого фильтрационного потока (рис.2).

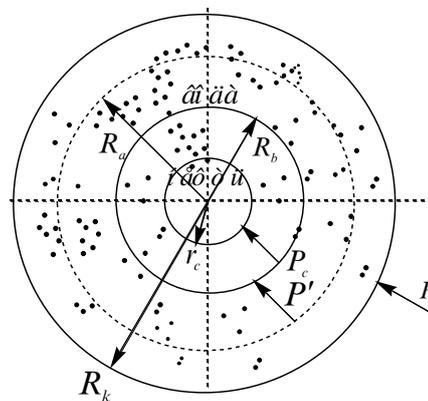


Рисунок 2 – Схема системы «Круговая залежь – центральная вертикальная скважина»

Figure 2 - Scheme of the system "Circular deposit – central vertical well"

Здесь также фильтрация различных двух вязкопластичных жидкостей подчиняется различным обобщенным законам Дар-

си [2, 4]. Из справедливого для второго случая условия $\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta$ имеем:

$$\frac{P_k - P' - G_1(R_k - R_1)}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1}} = \frac{P' - P_c - G_2(R_1 - r_c)}{\eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (13)$$

Отсюда получаем следующую формулу для давления P' на границе двух различных ВПЖ в залежи:

$$P' = \frac{P_k \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c} + P_c \eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1}}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} + \frac{G_2(R_1 - r_c) \eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} - G_1(R_k - R_1) \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (14)$$

Учитывая это значение P' , получаем законы распределения текущих давлений в различных зонах круговой залежи:

$$P_1 = P_k - \frac{\eta_1 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)] \cdot \ln \frac{R_k}{r_c}}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} - G_1(R_k - r) \quad (15)$$

$$P_2 = P_c + \frac{\eta_2 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \cdot \ln \frac{R_1}{r} + G_2(R_1 - r) \quad (16)$$

На основе различных обобщенных законов Дарси запишем:

$$g = \frac{k}{\eta_1} \frac{dP_1}{dr} - \frac{kG_1}{\eta_1} = \frac{k}{\eta_2} \frac{dP_2}{dr} - \frac{kG_2}{\eta_2} \quad (17)$$

Дифференцируя значения P_1 и P_2 в формулах (15) и (16) по r , получаем сле-

дующие формулы для текущих градиентов давлений в различных зонах залежи:

$$\frac{dP_1}{dr} = \frac{\eta_1 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)] \cdot \frac{1}{r} + G_1}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (18)$$

$$\frac{dP_2}{dr} = - \frac{\eta_2 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \times \frac{1}{r} - G_2 \quad (19)$$

Подставляя значение $\frac{dP_1}{dr}$ в формулу (17), получаем формулу текущей скорости фильтрации жидкостей:

$$g = \frac{k [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)] \cdot \frac{1}{r}}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (20)$$

Учитывая площадь текущей поверхности фильтрации при плоскорадиальном потоке фильтрации $F = 2\pi rh$, находим дебит жидкости скважины:

$$g = \frac{2\pi kh [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_1 \ln \frac{R_k}{R_1} + \eta_2 \ln \frac{R_1}{r_c}} \quad (21)$$

Ниже определена продолжительность продвижения границы двух различных вязкопластичных жидкостей:

$$t = - \frac{m}{k(G_1 - G_2)} (\eta_1 \ln R_k - \eta_2 \ln r_c) \times \left[R_1 - R_0 - \frac{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c}{G_1 - G_2} \times \ln \frac{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_1}{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_0} \right] + \frac{m(\eta_1 - \eta_2)}{k(G_1 - G_2)} [R_1 (\ln R_1 - 1)] - R_0 (\ln R_0 - 1) - \frac{m(\eta_1 - \eta_2)}{k(G_1 - G_2)} \times (P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c) \times \int_{R_0}^{R_1} \frac{\ln R_1}{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_1} dR_1 \quad (22)$$

Интеграл решался приближенно и продолжительность продвижения границы двух различных ВПЖ от положения R_0 до положения R_1 найдена в виде:

$$\begin{aligned}
 t = & -\frac{m}{k(G_1 - G_2)}(\eta_1 \ln R_k - \eta_2 \ln r_c) \times \\
 & \times \left[R_1 - R_0 - \frac{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c}{G_1 - G_2} \times \right. \\
 & \times \ln \frac{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_1}{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_0} \left. + \right. \\
 & + \frac{m(\eta_1 - \eta_2)}{k(G_1 - G_2)} [R_1 (\ln R_1 - 1)] - \\
 & - R_0 (\ln R_0 - 1) - \frac{m(\eta_1 - \eta_2)}{k(G_1 - G_2)} \cdot (P_k - P_c) - \\
 & - \frac{(P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c)^2 (2 - G_1 + G_2) + 18(G_1 - G_2)^2}{6 \cdot (G_1 - G_2)^3} \times \\
 & \times (R_1 - R_0) - \\
 & - \frac{(P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c)(2 - G_1 + G_2)}{6 \cdot (G_1 - G_2)^4} + \\
 & + \frac{18(P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c)(G_1 - G_2)^2 + 11(G_1 - G_2)^3}{18(P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_0)} \times \\
 & \times \ln \frac{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_1}{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_0} \left. \right]. \quad (23)
 \end{aligned}$$

При $R_1 = r_c$; $t = T$, где T – продолжительность полного продвижения границы двух различных ВПЖ до скважины.

В третьей задаче рассмотрен случай, когда подобное последовательное движение происходит в виде сферически-радиального простого фильтрационного потока [3]. Здесь также фильтрация различных двух ВПЖ подчиняется различным обобщенным законом Дарси (рис.3).

Из справедливого также для третьего случая условия $\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta$ имеем:

$$\frac{P_k - P' - G_1(R_k - R_1)}{\eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} = \frac{P' - P_c - G_2(R_1 - r_c)}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right)} \quad (24)$$

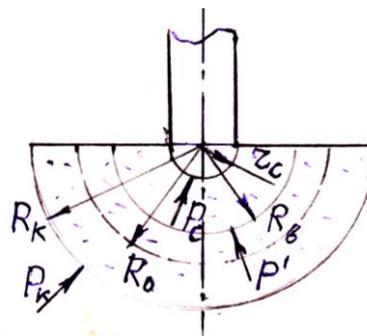


Рисунок 3 – Схема системы «Полусферическая залежь – вертикальная скважина»

Figure 3 - Scheme of the system "Hemispherical reservoir - vertical well"

Решая это уравнение, находим значение неизвестного давления P' на границе двух различных ВПЖ в виде:

$$\begin{aligned}
 P' = & -\frac{P_k \eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + P_c \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} + \\
 & + \frac{G_2(R_1 - r_c) \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right) - G_2 \eta_2 (R_k - R_1) \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right)}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \quad (25)
 \end{aligned}$$

Учитывая значение P' в формуле (25), находим следующие законы распределения текущих давлений в различных зонах залежи в видах:

$$\begin{aligned}
 P_1 = & P_k - \\
 & - \frac{\eta_1 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \times \\
 & \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_k} \right) - G_1(R_k - r), \quad (26)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 = & P_k + \\
 & + \frac{\eta_2 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \times \\
 & \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_k} \right) + G_2(R_1 - r), \quad (27)
 \end{aligned}$$

На основе обобщенных законов фильтрации Дарси имеем выражения (17).

Дифференцируя текущие давления P_1 и P_2 в формулах (26) и (27) по r , получаем следующие выражения для текущих градиентов давления в этих зонах залежи в видах:

$$\frac{dP_1}{dr} = \frac{\eta_1 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \cdot \frac{1}{r^2} + G_1, \quad (28)$$

$$\frac{dP_2}{dr} = - \frac{\eta_2 [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \cdot \frac{1}{r^2} - G_2. \quad (29)$$

Подставляя значение $\frac{dP_1}{dr}$ из формулы (28) в формуле (17), получаем следующую формулу для текущей скорости фильтрации в виде:

$$g = \frac{k [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \times \frac{1}{r^2} \quad (30)$$

Площадь текущей поверхности фильтрации в третьем случае будет:

$$F = 2\pi r^2 \quad (31)$$

А производительность скважины, работающей в центре полусферической залежи, будет:

$$Q = \frac{2\pi k [P_k - P_c - G_1(R_k - R_1) - G_2(R_1 - r_c)]}{\eta_2 \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_1} \right) + \eta_1 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_k} \right)} \quad (32)$$

Продолжительность продвижения границы зон различных ВПЖ в залежи от положения R_0 до R_1 найдена в виде:

$$t = - \frac{m}{k} \left[\frac{\eta_2 - \eta_1}{2(G_1 - G_2)} \cdot (R_1^2 - R_0^2) - \frac{(P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c) \left(\frac{\eta_2}{r_c} - \frac{\eta_1}{R_k} \right) + (G_1 - G_2)(\eta_1 - \eta_2) R_1}{(G_1 - G_2)^2} \times \right. \\ \left. \times (R_1 - R_0) + \frac{(P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c)^2 \left(\frac{\eta_2}{r_c} - \frac{\eta_1}{R_k} \right) + (P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c)(G_1 - G_2)(\eta_1 - \eta_2)}{(G_1 - G_2)^3} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_1}{P_k - P_c - G_1 R_k + G_2 r_c + (G_1 - G_2) R_0} \right]. \quad (33)$$

При $R_1 = r_c$; $t = T$, где T – продолжительность полного продвижения границы двух различных ВПЖ в залежи до скважины.

Заключение

Представлены результаты решения гидродинамических стационарных задач о последовательных фильтрациях различных несжимаемых несмешивающихся жидкостей в различных простых потоках по различным законам фильтрации.

Решены три задачи, из которых в первой задаче рассматривался случай, когда в полосообразной залежи происходит плоско-параллельный поток несжимаемых двух различных вязкопластичных жидкостей к прямолинейной галерее по различным обобщенным законам фильтрации Дарси.

Из равенства скоростей фильтрации выведена формула давления на границе зон залежи с различными структурно-механическими свойствами. Затем, используя формулу этого давления, находим законы распределения текущих давлений и текущих градиентов давления в этих зонах залежи, получены формулы скорости фильтрации и дебита нефти галереи, а также выведена формула для определения про-

должительности продвижения водо-нефтяного контакта в залежи.

Аналогичные задачи решены для плоско-радиального и полусферически-радиального потоков и выведены основные гидродинамические расчетные формулы.

Формулы можно применять при решении различных теоретических задач разработки нефтяных месторождений и проектировании разработки новых разведываний нефтяных месторождений.

REFERENCES

1. **Mustafaev S.D., Gasymova S.A.** Ploskoparallelnaya stacionarnaya filtraciya neszhimaemoj vyazkoplastichnoj nefti s proyavleniem peremennogo nachalnogo gradienta davleniya. *Tekhnologiya nefti i gaza*. Vyp. 2, M., 2018, s. 24-27. (in Russian)
2. **Aslanov J.N., Mustafaev S.D., Ibragimov V.A., Alieva R.T.** Krivolinejnoe radialnoe techenie szhimaemoj vyazkoplastichnoj zhidkosti so svobodnoj tekuchestyu v odnorodnom plaste. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E.Baumana*. Seriya Mashinostroenie. Vyp. 3, 2019, s.54-61. (in Russian)
3. **Gadzhieva L.S.** Sfericheski radialnoe dvizhenie vyazkoplastichnoj neszhimaemoj nefti v odnorodnom plaste po linejnomu zakonu filtracii v vodonapornom rezhime. *EKO-Energetika*. №3, 2019, s.77-81. (in Russian)
4. **Salavatov T.Ş., Məmmədova G.G.** Təmiz qaz yatağında layın ən sadə qeyri-bircinslilik hallarında qazın quyuya yastı-radial süzülməsinə dair stasionar qazodinamik məsələlər. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, cild 10, № 4, 2018. (in Azerbaijani)

Поступило: 11.01.2021
Доработано: 09.03.2022
Принято: 15.03.2022