

УДК 621.546

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ПЛОСКОРАДИАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ НЕСЖИМАЕМЫХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ В ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

С.Д. МУСТАФАЕВ<sup>1</sup>, Т.У. ХАНКИШИЕВА<sup>1+</sup>

В статье представлены результаты решения стационарных гидродинамических задач последовательной плоскорадиальной фильтрации двух несжимаемых жидкостей по различным законам фильтрации. В этих трех задачах, используя законы фильтрации Дарси, обобщенный закон Дарси и нелинейный закон А.Краснопольского, в однородной пористой среде выводились следующие расчетные гидродинамические формулы для рассматриваемых зон: скоростей фильтрации жидкостей, законы распределения текущего давления в пласте, текущих градиентов давления, давления на границе двух различных зон в дренажной зоне скважины, рекомендованы правила определения времени продвижения водонефтяного контакта частичной и полной продолжительностей вытесняемой и вытесняющей жидкостей в пласте.

Все эти выведенные формулы необходимо использовать при решении практических задач разработки различных нефтяных месторождений. Кроме того, их следует применять при составлении проекта разработки нового разведанного нефтяного месторождения. Осуществляя анализ всех выведенных формул, можно выявить специфические характерные особенности подобных месторождений, а также эти формулы помогут разработать и внедрить соответствующие своевременные мероприятия по предупреждению и устранению нежелательных явлений, которые могут способствовать сокращению срока полной разработки подобных залежей. Это, в свою очередь, имеет большое значение при сокращении полного времени разработки морских нефтяных месторождений, поможет увеличить нефтеотдачу, правильно установить оптимальный технологический режим работы эксплуатационных скважин, который должен проводиться только после изоляции пластовых вод универсальным гидродинамическим периодическим способом изоляции.

**Ключевые слова:** плоскорадиальный поток, несжимаемая жидкость, стационарная фильтрация, скорость фильтрации, текущее давление, дебит жидкости, закон фильтрации, градиент давления, начальный перепад давления, время продвижения.

**Введение.** При решении различных практических задач разработки нефтяных месторождений требуется иметь определенные гидродинамические расчетные формулы, которые выводятся в ходе решения теоретических задач разработки. В зависимости от закона фильтрации и вида простого потока фильтрации, а также от характера нефти в пластовых условиях выводятся различные гидродинамические формулы с учетом вида режима продуктивного пласта. Одной из практических задач является задача вытеснения пластовой нефти другой жидкостью.

В статье решаются теоретические задачи последовательной фильтрации несжимаемой нефти и другой несжимаемой несмешивающейся жидкости в однородном пласте по различным законам фильтрации; потоки фильтрации этих флюидов являются кольцевыми концентричными плоско-радиальными простыми потоками.

Рассматриваемая тема актуальна, так как имеет большое практическое значение.

<sup>1</sup> Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности (АГУНП)  
+ Khankishieva Tamilla, E-mail: tamilla.khankishiyeva72@mail.ru

**Цель статьи** – вывести отмеченные формулы для случаев, когда фильтрации подчиняются законам Дарси, А.Краснопольского и Обобщенного закона Дарси.

**Решение задачи.** Решены три гидродинамические задачи. В каждой задаче берется закон фильтрации в дифференциальной форме, учитывается площадь цилиндрической поверхности фильтрации, составляется дифференциальное уравнение, решая которое в различных пределах, выводятся требуемые расчетные гидродинамические формулы.

На рисунке представлена схема однородной круговой залежи, в центре которой работает вертикальная скважина. На этом рисунке представленная залежь состоит из двух concentrically расположенных кольцевых зон с двумя различными жидкостями, одна из которых – нефть). Эти жидкости движутся в пласте, подчиняясь различным законам фильтрации.

В статье решены несколько гидродинамических стационарных задач теории разработки нефтяных месторождений, в которых нефть является вытесняемой жидкостью (во II зоне), а другой флюид является вытесняющей жидкостью (в I зоне).

1. Сначала рассмотрим случай, когда вытесняемая неньютоновская нефть подчиняется нелинейному закону фильтрации А. Краснопольского, а вытесняющая вода – линейному закону фильтрации Дарси [1, 2, 3,4].

Ввиду неразрывности фильтрационного потока жидкостей и постоянства их расходов можем написать:  $\vartheta_n = \vartheta_b$ , и это условие для данной задачи пишется так:

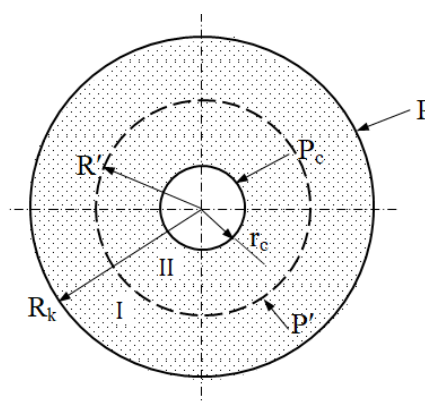
$$C \left( \frac{P' - P_c}{\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{r} = \frac{k}{\mu_b} \frac{P_k - P'}{\ln \frac{R_k}{R'}} \cdot \frac{1}{r} \quad (1)$$

Из этого равенства находим давление на границе жидкостей в следующем виде:

$$P' = R_k + \frac{1}{\frac{k}{2 \left( C \mu_b \ln \frac{R_k}{R'} \right)^2} \cdot \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right)} \cdot \left[ 1 - \sqrt{4 \left( \frac{k}{C \mu_b \ln \frac{R_k}{R'}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) (R_k - P_c) + 1} \right] \quad (2)$$

Законы распределения текущего давления в отдельных зонах выводились в следующих видах:

$$P_n = P_c + \frac{P_k - P_c - \frac{1}{2 \left( \frac{k}{\mu_b \ln \frac{R_k}{R'}} \right)^2} \cdot \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) \cdot \left[ 1 - \sqrt{4 \left( \frac{k}{C \mu_b \ln \frac{R_k}{R'}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) (R_k - P_c) + 1} \right]}{\frac{1}{r_c} - 1/R'} \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R'} \right) \quad (3)$$



**Рис.** Схема системы «круговая залежь-скважина»:

$R_k$  - радиус контура питания;  $r_c$  - радиус скважины;  $R'$  - радиус контакта различных жидкостей;  $P_k$  - пластовое давление;  $P_c$  - динамическое забойное давление скважины;  $P'$  - давление контакта двух различных жидкостей.

$$P_b = P_k + \frac{1 - \sqrt{4 \left( \frac{k}{C\mu_b \ln \frac{R_k}{R'}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R'} \right) (P_k - P_c) + 1}}{2 \left( \frac{k}{C\mu_b} \right)^2 \ln^3 \frac{R_k}{R'} \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right)} \cdot \ln \frac{R_k}{r} \quad (4)$$

Определяя производные от текущих давлений  $P_h$  и  $P_b$  по радиусу-вектору  $r$ , находим следующие формулы для текущих градиентов давления в различных зонах пласта:

$$\frac{dP_b}{dr} = \frac{1 - \sqrt{4 \left( \frac{k}{C\mu_b \ln \frac{R_k}{r_c}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R'} \right) (P_k - P_c) + 1}}{2 \left( \frac{k}{C\mu_b} \right)^2 \ln^3 \frac{R_k}{R'} \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right)} \cdot \frac{1}{r} \quad (5)$$

$$\frac{dP_h}{dr} = - \frac{P_k - P_c + \frac{1}{2 \left( \frac{k}{C\mu_b \ln R_k / R'} \right)^2 \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right)} \cdot \left[ 1 - \sqrt{4 \left( \frac{K}{C\mu_b \ln R_k / R'} \right)^2 \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) (P_k - P_c) + 1} \right]}{\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'}} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (6)$$

Скорости фильтрации в дифференциальной форме по каждой зоне будут:

$$\vartheta = \frac{k}{\mu_b} \cdot \frac{dP_b}{dr} = C \left( \frac{dP_h}{dr} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Аналитическое выражение скорости фильтрации флюидов выведено в виде:

$$\vartheta = \frac{C^2 \mu_b}{2k} \cdot \frac{\sqrt{4 \left( \frac{K}{C\mu_b \ln R_k / R'} \right)^2 \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) (P_k - P_c) + 1}}{\ln^3 \frac{R_k}{R'} \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right)} \cdot \frac{1}{r} \quad (8)$$

Учитывая площадь цилиндрической поверхности фильтрации  $F = 2\pi r h$  и используя формулу (8), находим формулу дебита нефти скважины в виде:

$$Q = \frac{\pi c^2 \mu_b h}{k} \cdot \frac{\sqrt{4 \left( \frac{k}{C\mu_b \ln R_k / R'} \right)^2 \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) (P_k - P_c) + 1 - 1}}{\ln^3 \frac{R_k}{r_c} \cdot \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right)} \quad (9)$$

С целью определения времени продвижения частиц жидкости в пласте необходимо решить следующий интеграл [1]:

$$t = \int_{r_c}^{R'} \frac{2mk \ln^3 R_k / R' \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) R' \cdot dR'}{c^2 \mu_b \sqrt{4 \left( \frac{k}{C\mu_b \ln R_k / R'} \right)^2 \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'} \right) (P_k - P_c) + 1 - 1}} \quad (10)$$

2. А теперь рассматривается случай, когда вытесняемая и вытесняющая жидкости подчиняются различным законам фильтрации А.Краснопольского [3,4].

Здесь для условия  $\vartheta_b = \vartheta_H$ , получим:

$$C_1 \left( \frac{P' - P_c}{\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R'}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{r} = C_2 \left( \frac{P_k - P'}{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_k}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{r} \quad (11)$$

Отсюда находим давления в контакте жидкостей:

$$P' = \frac{C_1^2 (R_k - R') R' r_c P_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R' \cdot P_k}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) \cdot R_k \cdot R'} \quad (12)$$

Законы распределения текущих давлений в различных зонах найдены в следующих видах:

$$P_b = P_k - \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{R_k}}{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_k}} \cdot \frac{C_1^2 (R_k - R') R' r_c (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R'} \quad (13)$$

$$P_H = P_c - \frac{\ln \frac{R'}{r}}{\ln \frac{R'}{r_c}} \cdot \frac{C_2^2 (R_k - r_c) R_k R' (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R'} \quad (14)$$

Текущие градиенты давления в зонах получены так:

$$\frac{dP_b}{dr} = \frac{R_k R'^2 C_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_c (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R'} \quad (15)$$

$$\frac{dP_H}{dr} = -\frac{1}{r \ln \frac{R'}{r_c}} \cdot \frac{C_2^2 (R' - r_c) R_k R' (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R'} \quad (16)$$

Скорости фильтрации в дифференциальной форме:

$$\vartheta = C_2 \left( \frac{dP_b}{dr} \right)^{\frac{1}{2}} = C_1 \left( \frac{dP_H}{dr} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Аналитическое выражение скорости фильтрации получено в виде:

$$\vartheta = C_1 C_2 \frac{R'}{r} \sqrt{\frac{R_k r_c (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R'}} \quad (18)$$

Учитывая площадь цилиндрической поверхности фильтрации с формулой (18), находим следующую формулу для определения дебита скважины:

$$Q = 2\pi h C_1 C_2 R' \sqrt{\frac{R_k r_c (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + C_2^2 (R' - r_c) R_k R'}} \quad (19)$$

Для определения времени продвижения частицы жидкости в пласте пользуемся связью средней истинной скорости движения жидкости в поровых каналах пласта и скорости фильтрации жидкости:

$$w = -\frac{dr}{dt} = \frac{\vartheta}{m}$$

Подставляя выражение  $\vartheta$  из формулы (18) в последнее уравнение, получим следующую формулу для времени продвижения жидкости в пласте:

$$t = \frac{R'^2 - r^2}{2 \frac{C_1 C_2}{m} \cdot R' \sqrt{\frac{R_k r_c (P_k - P_c)}{C_1^2 (R_k - R') R' r_c + c_2^2 (R' - r_c) R_k R'}}} \quad (20)$$

3. Здесь рассматривается случай, когда вытесняемая вязко-пластичная нефть подчиняется обобщенному закону Дарси, [5,6], а вытесняющая загущенная вода (неньютоновская жидкость) подчиняется нелинейному закону фильтрации А.Краснопольского.

Используя эти законы фильтрации в дифференциальной форме, произведя некоторые математические преобразования, выводились следующие формулы законов распределения текущих давлений в зависимости от текущих радиусов-векторов в различных зонах круговой залежи, в видах:

Для зоны воды:

$$P_B = P_k - \frac{P_k - P'}{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_k}} \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R_k} \right) \quad (21)$$

$$\vartheta = C \left( \frac{P_k - P'}{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_k}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{r} \quad (22)$$

Для зоны нефти:

$$P_H = P_c + \frac{(P' - P_c) \ln \frac{R'}{r}}{\ln \frac{R'}{r_c}} - \frac{G(R' - r_c) \ln \frac{R'}{r}}{\ln \frac{R'}{r_c}} + G(R' - r) \quad (23)$$

$$\vartheta_H = \frac{k(P' - P_c) - kG(R' - r_c)}{\eta_H \ln \frac{R'}{r_c}} \quad (24)$$

Для условия  $\vartheta_M = \vartheta_B$  имеем:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{k(P' - P_c) - kG(R' - r_c)}{\eta_H \ln \frac{R'}{r_c}} = C \left( \frac{P_k - P'}{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_k}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{r} \quad (25)$$

Отсюда находим формулу для давления в контакте различных зон залежи в виде

$$P' = P_c + G(R' - r_c) - \frac{C^2 \eta_H^2 R_k R' \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2 (R_k - R')} - \frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2} - \sqrt{\left[ \frac{2k^2 [P_c + G(R' - r_c)]}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R'}{R_k - R'} \right]^2 - \frac{4k^2}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} \left[ \frac{k^2 [P_c + G(R' - r_c)]^2}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R' \cdot P_k}{R_k - R'} \right]} \quad (26)$$

Законы распределения в зонах получены в видах:

$$P_B = P_k - \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{R_k}}{\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_k}} \left[ P_k - P_c - G(R' - r_c) + \frac{C^2 \eta_H^2 R_k R' \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2 (R_k - R')} + \right]$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2} \sqrt{\left[ \frac{2k^2 [P_c + G(R' - r_c)]}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k \cdot R'}{R_k - R'} \right]^2} - \dots \\
 & \dots - \frac{4k^2}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} \left[ \frac{k^2 [P_c + G(R' - r_c)]^2}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R' P_k}{R_k - R'} \right] \quad (27)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_H &= P_c + \frac{\ln \frac{R'}{r_c}}{\ln \frac{R'}{r_c}} [G(R' - r_c) - \frac{c^2 \eta_H^2 R_k R' \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2 (R_k - R')}] - \\
 & - \frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2} \sqrt{\left[ \frac{2k^2 [P_c + G(R' - r_c)]}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k - R'}{R_k - R'} \right]^2} - \dots \\
 & \dots - \frac{4k^2}{\sqrt{\frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} \left[ \frac{k^2 [P_c + G(R' - r_c)]^2}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R' P_k}{R_k - R'} \right]}} - \frac{G(R' - r_c) \ln \frac{R'}{r_c}}{\ln \frac{R'}{r_c}} + G(R' - r_c) \quad (28)
 \end{aligned}$$

А теперь берем производные от текущих давлений  $P_B$  и  $P_H$  по радиусу-вектору  $r$  и выведем следующие выражения для текущих градиентов давления в рассматриваемых зонах:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_B}{dr} &= \frac{R_k R'}{r^2 (R_k - R')} [P_k - P_c - G(R' - r_c) + \frac{c^2 \eta_H^2 R_k R' \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2 (R_k - R')}] + \\
 & + \frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2} \sqrt{\left[ \frac{2k^2 [P_c + G(R' - r_c)]}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R'}{R_k - R'} \right]^2} - \\
 & \dots - \frac{4k^2}{\sqrt{\frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} \left[ \frac{k^2 [P_c + G(R' - r_c)]^2}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R' P_k}{R_k - R'} \right]}} \quad (29)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_H}{dr} &= -\frac{1}{r \ln \frac{R'}{r_c}} [G(R' - r_c) - \frac{C^2 \eta_H^2 R_k R' \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2 (R_k - R')}] - \\
 & - \frac{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2} \sqrt{\left[ \frac{2k^2 [P_c + G(R' - r_c)]}{C^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R'}{R_k - R'} \right]^2} - \dots
 \end{aligned}$$

$$\dots - \sqrt{\frac{4k^2}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} \left[ \frac{k^2 [P_c + G(R' - r_c)]^2}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R' P_k}{R_k - R'} \right]} + \frac{G(R' - r_c)}{r \ln \frac{R'}{r_c}} - G \quad (30)$$

Скорость фильтрации жидкости будет:

$$\vartheta = C \left( \frac{dP_B}{dr} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{k}{\eta_H} \left( \frac{dP_H}{dr} - G \right) = \frac{k}{\eta_H} \frac{dP_H}{dr} - \frac{kG}{\eta_H} \quad (31)$$

или

$$\begin{aligned} \vartheta &= \frac{k}{r \eta_H \ln \frac{R'}{r_c}} = [G(R' - r_c) - \frac{c^2 \eta_H^2 R_k R' \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2 (R_k - R')} - \\ &- \frac{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}}{2k^2} \sqrt{\left[ \frac{2k^2 [P_c + G(R' - r_c)]}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R'}{R_k - R'} \right]^2} - \dots \\ &\dots \sqrt{\frac{4k^2}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} \left[ \frac{k^2 [P_c + G(R' - r_c)]^2}{c^2 \eta_H^2 \ln^2 \frac{R'}{r_c}} - \frac{R_k R' P_k}{R_k - R'} \right]} - \frac{kG(R' - r_c)}{r \eta_H \ln \frac{R'}{r_c}} \end{aligned} \quad (32)$$

Дебит скважины будет:

$$Q = \vartheta \cdot F = \vartheta \cdot 2\pi r h$$

Средняя действительная скорость движения жидкости в поровых каналах пласта будет:

$$w = \frac{\vartheta}{m} = - \frac{dR'}{dt}$$

Из последнего выражения можно определить время продвижения границы жидкостей [2].

В теории разработки уже решены многочисленные аналогичные стационарные гидродинамические задачи по теме, рассматриваемой в данной статье. Все эти задачи имеют практическое применение в конкретных геолого-физических условиях.

**Заключение.** В статье решены стационарные гидродинамические задачи последовательной фильтрации двух различных несжимаемых жидкостей в однородном круговом пласте по различным законам фильтрации. В этих трех задачах рассматривались три случая движения жидкостей в однородной пористой среде; в первом случае последовательно фильтруются неньютоновская нефть по нелинейному закону А.Краснопольского а вода – по линейному закону Дарси; во втором случае фильтруются две различные неньютоновские жидкости по закону А. Краснопольского; в третьем случае – вязкопластичная нефть по закону обобщенного закона Дарси и вода по закону А.Краснопольского. Во всех трех задачах выводились следующие расчетные гидродинамические формулы для рассматриваемых зон: скоростей фильтрации жидкостей, законов распределения текущего градиента давления, давления на границе зон и показаны правила определения времени продвижения этой границы до эксплуатируемой скважины.

## REFERENCES

1. **Hacıyeva L.S.** Sıxılmayan özlü-plastik neftin xətti qanunla dəyişən geoloji-fiziki xassələri olan yarımşferik yataqdan quyuya su ilə sıxışdırılması // EKO –ENERGETİKA texniki jurnal, № 4 2018. S.60-64.
2. **Bronishtejn I.N., Semendyaev K.A.** Spravochnik po matematike. Sovmestnoe izdanie: Lejpcig: izdatelstvo «Тojbner» - Moskva: «Nauka». Glavnaya redakciya fiz.-mat. literatury.1981, 721 s. 3. **Pyhachev G.B.** Podzemnaya gidravlika. - Moskva: Gostontekhzdat. 1961. S.29-33.
4. **Shchelkachev V.N., Lapuk B.B.** Podzemnaya gidravlika. – Moskva, Leningrad: Gostontekhzdat. 1949. S.336-350.
5. **Samedov T.A., Mamedova G.G., Mustafayev S.D.** Vytesnenie neshhimaemoj vyzko-plastichnoj nefti zagushchennoj vodoj v odnorodnoj poristoj srede // nauchno-texnicheskij zhurnal EKO-ENERGETIKA. № 1, 2017, s.21-28.
6. **Mustafayev S.D., Xankişiyeva T.Ü.** Sıxılmayan özlü-plastik neftin dəyişən başlanğıc təzyiq qradiyent ilə stasionar yastı-parallel süzülməsi //Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri, № 2, 2018. S.47-54.

### SIXILMAYAN, QARIŞMAYAN MAYELƏRİN BİRCİNS MƏSAMƏLİ MÜHİTDƏ ARDICIL YASTI-RADIAL SÜZÜLMƏSİ

S.D. MUSTAFAYEV, T.Ü. XANKİŞİYEVA

Məqələdə müxtəlif süzülmə qanunları üzrə iki qarışmayan sıxılmayan mayelərin ardıcıl yastı-radial süzülməsi barədə stasionar hidrodinamik məsələlərin həlli nəticələri təqdim edilmişdir. Bu üç məsələlərdə birçins məsaməli mühitdə Darsi, Ümumiləşdirilmiş Darsi və qeyri-xətti A.Krasnopolski süzülmə qanunları istifadə edilmişdir; baxılan zonalar üçün aşağıdakı hesabat hidrodinamik düsturlar çıxarılmışdır: mayelərin süzülmə sürətləri, cari təzyiqin layda səpələnməsi qanunları, cari təzyiq qradiyenti, quyunun laydakı drenaj zonasındakı sərhəddə təzyiq, layda sıxışdırılan və sıxışdıran mayelərin qismən və tam irəliləmə müddətləri.

Bütün çıxarılmış düsturları neft yataqlarının müxtəlif praktiki işlənmə məsələlərinin həllində istifadə etmək lazımdır. Bundan başqa onları yeni kəşf edilmiş neft yatağı işlənmə layihəsinin tərtib edilməsində tətbiq etmək lazımdır. Bütün çıxarılmış düsturların təhlilini həyata keçirərək belə yataqların xüsusi xarakterik cəhətlərini aşkar etmək olar, həm də bu düsturlar arzu edilməyən hadisələrin əvvəlcədən xəbərdarlıq edilməsi üçün və aradan qaldırılması məqsədilə vaxtlı-vaxtında uyğun tədbirlərin işlənməsinə və tətbiq edilməsinə kömək etməlidirlər, həm də belə yataqların tam işlənmə müddətinin ixtisar edilməsinə gətirəcəkdir ki, bunun da dəniz yataqları üçün böyük əhəmiyyəti vardır. Bu da öz növbəsində, neftverməni artırmağa, istismar quyularının optimal texnoloji iş rejimini qurmağa kömək edəcək. Bütün bunları yalnız lay sularını universal hidrodinamik üsulla dövrü təcrid etdikdən sonra aparmaq lazımdır.

**Açar sözlər:** *yastı-radial axın, sıxılmayan maye, stasionar süzülmə, süzülmə sürəti, cari təzyiq, mayenin debiti, süzülmə qanunu, təzyiq qradiyenti, başlanğıc təzyiq düşküsi, irəliləmə vaxtı.*

### SEQUENTIAL PLANE-RADIAL FILTRATION OF INCOMPLETABLE IMMIXABLE LIQUIDS IN A HOMOGENEOUS POROUS MEDIUM.

C.D. MUSTAFAYEV, T.U. KHANKISHIEVA

The article presents the results of the solution of stationary hydrodynamic problems on consecutive flat-radial filtration of two non-compressible fluids under different filtration laws. In these three issues, the Darcy, Generalized and Nonlinear A. Krasnopolski Filtering Laws were applied in a porous environment; The following hydrodynamic formulas for the considered areas were produced: fluid filtration rates, current pressure dispersion laws, current pressure gradients, pressure at the well in the drainage zone, partial compression and compression fluids.

All extracted formulas should be used to address the various practical issues of oil field development. They should also be used in the design of a newly discovered oil field development project. By analyzing all the derived formulas, the specific characteristics of such fields can be identified, and these formulas should help develop and apply appropriate measures in a timely manner to prevent and prevent unwanted events, as well as reduce the duration of such beds. This will also have significant implications for offshore fields. It is necessary to increase oil supply, to establish optimal operating mode of operating wells, all of which should be carried out only after periodic isolation of ground water by universal hydrodynamic method.

**Key words:** *plane radial flow, incompressible fluid, Stationary filtration, filtration rate, current pressure, fluid flow rate, filtration law, pressure gradient, initial pressure drop, advance time.*

*Поступило: 21.04.2020  
После обработки: 27.11.2020  
Принято к публикации: 02.12.2020*