



УДК 622.654.12

ПЛОСКО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ДВИЖЕНИЯ НЕСЖИМАЕМЫХ НЕФТЕЙ В ОДНОРОДНОМ ПОЛОСООБРАЗНОМ ПЛАСТЕ ПО РАЗЛИЧНЫМ ЗАКОНАМ ФИЛЬТРАЦИИ

PLANE-PARALLEL STATIONARY MOVEMENTS OF INCOMPRESSIBLE OILS IN HOMOGENEOUS STRIPE-LIKE RESERVOIR ON DIFFERENT FILTRATION LAWS

Мамедова Г.Г.

Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности

Аннотация. В статье даны решения трех стационарных гидродинамических задач о плоскопараллельной фильтрации неньютоновской нефти в однородном полосообразном пласте по законам Дарси, Обобщенного закона Дарси, А. Краснопольского. выводились формулы основных показателей разработки таких залежей, которые необходимы для решения различных теоретических задач разработки и при составлении проекта разработки новых разведованных таких залежей. Анализируя эти формулы, можно выявить характерные особенности разработки, разработать и внедрять мероприятия по напряжению осложнений и нежелательных явлений.

Ключевые слова: плоскопараллельный поток, стационарное движение, неньютоновская нефть, однородный полосообразный пласт, закон фильтрации, дебит галереи, скорость фильтрации, градиент давления, продолжительность продвижения нефти.

Mamedova G.G.

Azerbaijan State Oil and Industry University

Annotation. Solutions of the stationary hydrodynamic tasks on plane-parallel filtration of non-Newtonian oil in homogeneous stripe-like layer on A.Krasnopolsky laws have been given. The formulas of main indices of development of such deposits have been derived for solving various theoretical tasks and compiling development project of new explored deposits.

Analyzing these formulas, it is possible to reveal characteristic features of development, to work out and realize measurements on eliminating complications, and undesired phenomenon.

Keywords: plane-parallel flow, stationary movement, non-Newtonian oil, homogeneous stripe-like layer, filtration law, gallery discharge, filtration rate, pressure gradient, duration of oil movement.

В данной статье представлены результаты решения трех стационарных гидродинамических задач о плоскопараллельных потоках несжимаемых нефтей в однородном горизонтальном полосообразном пласте по законам фильтрации Дарси, Обобщенного закона Дарси и закона А. Краснопольского [1, 2, 3].

На рисунке 1 показана схема полосообразной залежи с прямолинейной залежи с прямолинейной галереей.

1. В первой задаче плоскопараллельная фильтрация ньютоновской несжимаемой нефти происходит в прямолинейной полосообразной залежи, поэтому линейный закон фильтрации Дарси нефти в дифференциальной форме выражается так:

$$v = -\frac{k \, dP}{\mu \, dx}, \quad (1)$$

где v – текущая скорость фильтрации, k – коэффициент проницаемости пласта, μ – динамическая вязкость нефти в пластовых условиях, P – давление, x – пространственная координата (абсцисса), dP / dx – градиент давления [3, 4].

Площадь поверхности фильтрации залежи, будет:

$$F = B \cdot h, \quad (2)$$

где B – ширина полосообразной нефтяной залежи, h – мощность пласта.

Разделяя дифференциальное уравнение (1) на переменные и интегрируя его в пределах по P от P_k до P_r и по x от нуля до L_k и учитывая значение (2), выводим следующую формулу для дебита ньютоновской нефти галереей:

$$Q = \frac{Bkh(P_k - P_r)}{\mu L_k}. \quad (3)$$

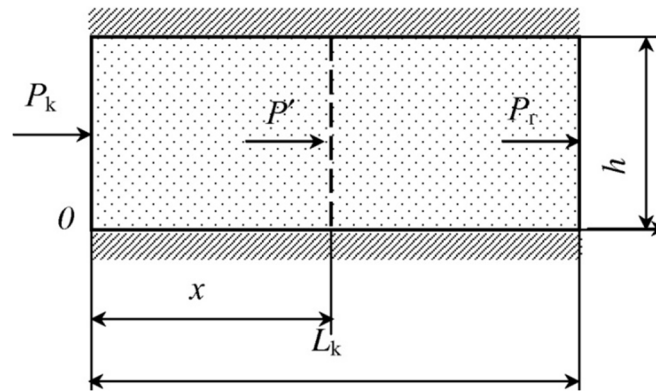


Рисунок 1 – Схема полосообразной залежи с прямолинейной галереей:
 P_k – динамическое забойное давление галереи, P – текущее давление,
 x – текущая координата, L_k – длина полосообразной залежи, h – мощность залежи

Интегрируем дифференциальное уравнение

$$-\frac{Q\mu}{Bkh} \cdot dx = dP \text{ в других пределах } P \text{ от } P_k \text{ до } P \text{ и } r \text{ от } 0 \text{ до } r:$$

$$-\frac{Q\mu}{Bkh} \int_x^{R_k} dx = \int_P^{P_k} dP \text{ и получаем:}$$

$$-\frac{Q\mu}{Bkh} (R_k - x) = P_k - P, \tag{4}$$

Подставляя значение Q из формулы (3) в формуле (4), получаем следующий закон распределения текущего давления в полосообразной залежи:

$$P = P_k - \frac{P_k - P_r}{L_k} (R_k - x). \tag{5}$$

Дифференцируя P в формуле (5) по x , находим следующее выражение для градиента давления:

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{P_k - P_r}{L_k}. \tag{6}$$

Как видно, значение текущего градиента давления не изменяется в зависимости от пространственной координаты (т.е. от абсциссы), а остается постоянным.

Из выражения (6) находим следующую формулу текущей скорости фильтрации:

$$v = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{P_k - P_r}{L_k}. \tag{7}$$

Как видно из формулы (7), текущая скорость фильтрации то же не зависит от абсциссы, а остается постоянной.

Частичная продолжительность продвижения ньютоновской нефти от текущего положения x до L находится из следующего дифференциального уравнения:

$$w = \frac{v}{m} = \frac{dx}{dt}. \tag{8}$$

Учитывая значение v из формулы (7), получаем:

$$\frac{k}{\mu} \cdot \frac{P_k - P_r}{L_k} = \frac{dx}{dt}. \tag{9}$$

Решая уравнение (9), находим:

$$t = \frac{m\mu L_k}{k(P_k - P_r)} (L_k - x). \tag{10}$$



При $x = R_0$; $t = T$ и:

$$T = \frac{m\mu L_k}{k(P_k - P_r)} (L_k - R_0). \quad (11)$$

Таким образом, по формуле (10) вычисляется частичная продолжительность продвижения ньютоновской нефти в полоосообразной залежи, а по формуле (11) – полная продолжительность от положения R_0 до галереи.

2. Во второй задаче фильтрация вязко-пластичной нефти подчиняется Обобщенному закону Дарси, который в дифференциальной форме выражается так:

$$v = -\frac{k}{\eta} \left(\frac{dP}{dx} - G \right). \quad (12)$$

Здесь используем связь между скоростью фильтрации и дебита галереи и имеем:

$$Q = v \cdot F = -\frac{kF}{\eta} \left(\frac{dP}{dx} - G \right), \quad (13)$$

где $F = Bh$ – площадь по перечного сечения полоосообразной залежи вязко-пластичной нефти.

Разделяя на переменные дифференциальное уравнение и интегрируя его в пределах по P от P_k до P_r и по x от нуля до L_k , выводим следующую формулу для дебита галереи:

$$Q = \frac{Bkh(P_k - P_r)}{\eta L_k} + \frac{G}{\eta}. \quad (14)$$

Из формулы (14) получается следующая формула для текущей скорости фильтрации:

$$v = \frac{k(P_k - P_r)}{\eta L_k} + \frac{G}{Bh\eta}. \quad (15)$$

Частичная продолжительность продвижения вязко-пластичной нефти в однородном пласте определяется решением следующего уравнения:

$$w = \frac{v}{m} = \frac{dx}{dt}, \quad (16)$$

где w – средняя истинная скорость движения нефти в каналах породы пласта, m – коэффициент пористости породы пласта, t – время продвижения; результат решения получился в виде:

$$t = \frac{m\eta Bh L_k}{kBh(P_k - P_r) + GL_k} x. \quad (17)$$

При $L_k - x$; $t = T$, то есть:

$$T = \frac{m\eta Bh L_k}{kBh(P_k - P_r) + GL_k} (L_k - x). \quad (18)$$

По формуле (18) вычисляется продолжительность полного продвижения вязко-пластичной нефти в однородном пласте на расстояние $L_k - x$.

3. В третьей задаче фильтрация неньютоновской нефти в однородном пласте подчиняется закону А. Краснополяского, который в дифференциальной форме выражается так:

$$v = -C \left(\frac{dP}{dx} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Дебит галереи, будет:

$$Q = vF = CF \left(\frac{dP}{dx} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (20)$$



$$F = Bh. \tag{21}$$

Разделяя дифференциальное уравнение (20) на переменные и интегрируя по P в пределах от P_k до P_r и по x в пределах от нуля до L_k , получаем следующее выражение для дебита неньютоновской нефти в однородном пласте в виде:

$$Q = \frac{CBh}{L_k^{\frac{1}{2}}} (P_k - P_r)^{\frac{1}{2}}. \tag{22}$$

Из формулы (22) находим следующее выражение для текущей скорости фильтрации

$$v = \frac{C}{L_k^{\frac{1}{2}}} (P_k - P_r)^{\frac{1}{2}}. \tag{23}$$

А теперь определим частичную продолжительность продвижения неньютоновской нефти в однородном пласте:

$$w = \frac{v}{m} = \frac{dx}{dt}.$$

$$\frac{C}{mL_k^{\frac{1}{2}}} (P_k - P_r)^{\frac{1}{2}} = \frac{dx}{dt}. \tag{24}$$

Разделяя на переменные дифференциальное уравнение (24) и интегрируя по x от x до $L_k - x$ и по t от нуля до t находим:

$$t = \frac{mL_k^{\frac{1}{2}}}{C(P_k - P_r)^{\frac{1}{2}}} (L_k - 2x). \tag{25}$$

При $x = L_k, t = T$ и

$$T = \frac{mL_k^{\frac{3}{2}}}{C(P_k - P_r)^{\frac{1}{2}}}. \tag{26}$$

По формуле (26) определяется полная продолжительность продвижения неньютоновской нефти в однородном пласте от нуля до L_k (до галереи) [4].

Выводы и рекомендации:

1. В статье решены три стационарные гидродинамические задачи о плоскопараллельном потоке фильтрации ньютоновской (в первой) и неньютоновской нефти вязко-пластичной в однородном полосообразном пласте по закону А. Краснопольского.
2. Выводились формулы основных показателей разработки месторождений неньютоновских нефтей, то есть дебита нефти галереи, закона распределения текущего давления в дренажной зоне полосообразной залежи, текущего градиента давления, скорости фильтрации и продолжительности продвижения данной нефти в пласте.
3. Все выведенные расчетные формулы необходимо применять при решении различных теоретических задач разработки рассматриваемого типа месторождения.
4. Следует также использовать эти формулы при составлении проекта разработки нового разведанного месторождения рассматриваемых видов нефти.
5. Анализируя выведенные формулы, можно выявить характерные особенности разработки этих залежей, разработать и внедрять мероприятия по устранению появления осложнений и нежелательных явлений.

**Литература:**

1. Мустафаев С.Д., Гасимова С.А. Плоско-параллельная стационарная фильтрация несжимаемой вязко-пластичной нефти с проявлением переменного начального градиента давления. – М. : Технологии нефти и газа. – 2018. – Вып. 2. – С. 24–27.
2. Məmmədova G.G., Mustafayev S.D. Sıxılmayan özlü-plastik neftin bircins layda su ilə yastı-paralel sıxışdırılması // SOCAR, Azərbaycan Neft Təsərrüfatı. – 2019. – № 1. – P. 27–30.
3. Мустафаев С.Д., Байрамов Ф.Г. Фильтрация несжимаемой вязко-пластичной нефти со свободной поверхностью в однородном пласте к прямолинейной галерее // ЭКО-ЭНЕРГЕТИКА научно-технической журнал. – 2019. – № 1. – С. 60–63.
4. Mustafayev S.D., Xankişiyeva T.Ü. Sıxılmayan özlü-plastik neftin dəyişən başlanğıc təzyiq qradientlə stasionar yastı-paralel süzülməsi // «Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri» jurnalı. – 2018. – Vol. 10. – № 2. – P. 47–53.

References:

1. Mustafaev S.D., Gasimova S.A. Plane-parallel stationary filtration of incompressible viscous-plastic oil with the manifestation of a variable initial pressure gradient. – M. : Oil and gas technologies. – 2018. – Issue. 2. – P. 24–27.
2. Məmmədova G.G., Mustafayev S.D. Sıxılmayan özlü-plastik neftin bircins layda su ilə yastı-paralel sıxışdırılması // SOCAR, Azərbaycan Neft Təsərrüfatı. – 2019. – № 1. – P. 27–30.
3. Mustafaev S.D., Bairamov F.G. Filtration of incompressible viscous-plastic oil with a free surface in a homogeneous reservoir to a straight gallery // ECO-ENERGETIKA scientific and technical journal. – 2019. – № 1. – P. 60–63.
4. Mustafayev S.D., Xankişiyeva T.Ü. Sıxılmayan özlü-plastik neftin dəyişən başlanğıc təzyiq qradientlə stasionar yastı-paralel süzülməsi // «Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri» jurnalı. – 2018. – Vol. 10. – № 2. – P. 47–53.