

DOI:

УДК 622.276.1/4

ВЫТЕСНЕНИЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНОЙ НЕФТИ ВОДОЙ В ОДНОРОДНОЙ ПОЛОСООБРАЗНОЙ ЗАЛЕЖИ К ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ГАЛЕРЕЕ

Мустафаев Сафа Дадаш оглы – кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазовое оборудование, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, safa_mustafaev@mail.ru

Кязимов Фазиль Кямал оглы – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела «Проектирование воздействия на пласт и призабойную зону» НИПИ «Нефтегаз», ГНКАР, fazil_kazimov@mail.ru

Ханкишиева Тамила Узеир кызы – кандидат технических наук, заведующая лабораторией кафедры нефтегазовое оборудование, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, tamilla.khankishiyeva@mail.ru

Аннотация: рассмотрена задача вытеснения несжимаемой вязко-пластичной нефти водой в однородной полосообразной залежи. Здесь вытесняемая нефть подчиняется обобщенному закону фильтрации Дарси, а вытесняющая вода – нелинейному закону фильтрации А. Краснопольского. Решены дифференциальные уравнения законов фильтрации и выведены расчетные формулы для основных эксплуатационных параметров галереи. Эти формулы необходимо использовать при составлении проекта разработки нового месторождения и при решении других задач разработки.

Ключевые слова: полосообразная залежь вязко-пластичная нефть, прямолинейная галерея, вытеснение водой, нелинейный закон фильтрации, скорость фильтрации, распределение давления, градиент давления, дебит галереи.

Введение.

В статье представлены результаты решения гидродинамической стационарной задачи о вытеснении несжимаемой вязко-пластичной нефти водой в однородной полосообразной залежи из пласта к прямолинейной галерее. В литературе представлены результаты решения аналогичных задач для плоско-радиального и сферически-радиального потоков процесса вытеснения [1, 2]. Выведенные гидродинамические формулы необходимо использовать при составлении проекта разработки месторождений указанного характера и при решении других теоретических задач разработки.

Основная часть. Здесь решая дифференциальные уравнения законов фильтрации вязко-пластичной нефти в вытесняемой зоне полосообразной залежи и воды в вытесняющей зоне, выводились следующие формулы для их скоростей фильтрации:

$$g_n = \frac{k(P' - P_c)}{\eta_n(L_k - X_S)} - \frac{kG}{\eta_n} \quad (1)$$

$$g_e = C \left(\frac{P_k - P'}{x_e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

k – проницаемость пласта; P_k – пластовое давление; P_c – забойное давление галереи; P' – давление водо-нефтяного контакта; G – начальный градиент давления, проявляющийся в нефтеносной зоне; η_n – структурная вязкость нефти в пластовых условиях; C – коэффициент пропорциональности; L_k – длина полосообразной залежи; x_e – пространственная координата (абсцисса) контура водоносности [1, 2].

На основе неразрывности фильтрационных потоков и закона стабильности несжимаемых флюидов можем написать:

$$g_n = g_e \quad (3)$$

Подставляя значения скоростной фильтрации из формул (1) и (2) в равенство (3), получаем:

$$\frac{k(P' - P_c)}{\eta_n(L_k - X_S)} - \frac{kG}{\eta_n} = C \left(\frac{P_k - P'}{x_e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Решая это уравнение по P' , получаем следующую формулу для давления на границе зон нефти и воды:

$$P' = P_\Gamma + G(L_k - x_B) - \frac{C^2 \eta_H^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_B} - \frac{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2} \sqrt{\left[\frac{C^2}{x_B} - \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} - \frac{2k^2 G}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \right]^2} - \frac{4k^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \left[\frac{k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} + \frac{2k^2 G P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)} + \frac{k^2 G^2}{\eta_H^2} - \frac{C^2 P_k}{x_B} \right] \quad (5)$$

Закон распределения текущего давления в водоносной зоне месторождения получился в следующем виде:

$$P_B = P_k - \frac{x}{x_B} \left[P_k - P_\Gamma - G(L_k - x_B) + \frac{C^2 \eta_H^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_S} + \frac{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2} \sqrt{\left[\frac{C^2}{x_B} - \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} - \frac{2k^2 G}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \right]^2} - \frac{4k^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \left[-\frac{k^2 P_\Gamma^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} + \frac{2k^2 G P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)} + \frac{k^2 G^2}{\eta_H^2} - \frac{C^2 P_k}{x_B} \right] \right] \quad (6)$$

Закон распределения текущего давления в нефтеносной зоне месторождения получился так:

$$P_H = P_\Gamma + \frac{L_k - X}{L_k - x_B} \left[G(L_k - x_S) - \frac{C^2 \eta_H^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_S} - \frac{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2} \sqrt{\left[\frac{C^2}{x_B} - \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} - \frac{2k^2 G}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \right]^2} - \frac{4k^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} + \frac{2k^2 G P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)} + \frac{k^2 G^2}{\eta_H^2} - \frac{C^2 P_k}{x_B} \right] \quad (7)$$

Для получения формулы текущего градиента давления в водоносной зоне залежи дифференцируем P_B в формуле (6) по x и имеем:

$$\frac{dP_B}{dx} = -\frac{1}{x_B} \left[P_k - P_\Gamma - G(L_k - x_B) + \frac{C^2 \eta_H^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_B} + \frac{C^2 \eta_H^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_B} + \frac{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2} \sqrt{\left[\frac{C^2}{x_B} - \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} - \frac{2k^2 G}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \right]^2} - \frac{4k^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \left[\frac{k^2 P_\Gamma^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} + \frac{2k^2 G P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)} - \frac{C^2 P_k}{x_B} \right] \right] \quad (8)$$

Для получения формулы текущего градиента давления в нефтеносной зоне залежи дифференцируем P_H в формуле (7) по x и имеем:

$$\frac{dP_H}{dx} = -\frac{1}{L_k - x_B} \left[G(L_k - x_B) - \frac{C^2 \eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_S} - \frac{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2} \sqrt{\left[\frac{C^2}{x_S} - \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} - \frac{2k^2 G^2}{\eta_H^2} \right]^2} - \frac{4k}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \left[\frac{k^2 P_\Gamma^2}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} + \frac{2k^2 G P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)} + \frac{K^2 G^2}{\eta_H^2} - \frac{C^2 P_k}{x_B} \right] \right] \quad (9)$$

Скорость фильтрации в нефтеносной зоне залежи, будет:

$$g_n = \frac{K}{\eta_H (L_k - x_B)} \left[G(L_k - x_B) - \frac{C^2 \eta_n^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2 x_B} - \frac{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2}{2k^2} \sqrt{\left[\frac{C^2}{x_B} - \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} - \frac{2k^2 G}{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2} \right]^2} - \frac{4k}{\eta_H^2 (L_k - x_B)^2} \left[\frac{k^2 P_\Gamma^2}{\eta_n^2 (L_k - x_B)^2} + \frac{2k^2 P_\Gamma}{\eta_n^2 (L_k - x_B)} + \frac{K^2 G^2}{\eta_n^2} - \frac{C^2 P_k}{x_B} \right] + \frac{kG}{\eta_H} \right] \quad (10)$$

Дебит нефти галереи, будет:

$$Q_H = \mathcal{G}_H \cdot F = \mathcal{G}_H \cdot B \cdot h \quad (11)$$

здесь B – ширина залежи, h – толщина пласта.

Средняя истинная скорость движения границы зон двух различных жидкостей, будет:

$$\omega = \frac{dx_B}{dt} = \frac{\mathcal{G}_H}{m} \quad (12)$$

где m – коэффициент пористости пласта.

Выводы и рекомендации. В статье представлены результаты решения гидродинамической стационарной задачи о вытеснении несжимаемой вязко-пластичной нефти водой из полособразной залежи к прямолинейной галерее.

Вытесняемая нефть подчиняется обобщенному закону фильтрации, а вытесняющая вода – нелинейному закону фильтрации А. Краснопольского.

Решены дифференциальные уравнения этих законов фильтрации нефти и воды, вывелись основные формулы эксплуатационных параметров прямолинейной галереи.

Для составления проекта разработки разведанных месторождений отмеченного характера и для решения других задач разработки рекомендуется использовать выведенные гидродинамические расчетные формулы.

Результаты решения рассматриваемой задачи должны применяться также при вычислении внешних гидравлических сопротивлений между контуром нефтеносности и первым рядом эксплуатационных скважин и между соседними рядами скважин, когда сеть разработки нефтяных месторождений

состоит из прямолинейных рядов скважин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мустафаев С.Д., Самедов Ф.А., Садыгова Н.С. Линейное движение сжимаемой вязко-пластичной нефти при водонапорном режиме пласта в направлении прямолинейного подземного водопровода // Азербайджанский Международный научно-теоретический журнал. 2016. Февраль. С. 23-26.

2. Мустафаев С.Д., Ханкишиева Т.У. Стационарная плоскопараллельная фильтрация несжимаемой вязко-пластичной нефти с переменным начальным градиентом давления // Вести Азербайджанской Инженерной Академии. 2018. Том 10.2. С. 47-53.

REFERENCES

1. Mustafaev S.D., Samedov F.A., Sadygova N.S. Linejnoe dvizhenie szhimaemoj vyazko-plastichnoj nefti pri vodonapornom rezhime plasta v napravlenii pryamolinejnogo podzemnogo vodoprovoda // Azerbajdzhanskij Mezhdunarodnyj nauchno-teoreticheskij zhurnal. 2016. Fevral'. S. 23-26.

2. Mustafaev S.D., Hankishieva T.U. Stacionarnaya ploskoparallel'naya fil'traciya neszhimaemoj vyazko-plastichnoj nefti s peremennym nachal'nym gradientom davleniya // Vesti Azerbajdzhanskoj Inzhenernoj Akademii. 2018. Tom 10.2. S. 47-53.

DISPLACEMENT OF INCOMPRESSIBLE VISCOUS-PLASTIC OIL WITH WATER IN HOMOGENEOUS BINARY LAYER TO A RECTAL LINE GALLERY**Mustafayev S.D., Kyazimov F.K., Khankishiyeva T.U.**

Annotation: the problem of displacing incompressible viscous-plastic oil with water in a homogeneous strip-like reservoir is considered. Here, the displaced oil obeys the Generalized Darcy filtration law, and the displacing water the nonlinear filtration law of A. Krasnopolsky. The differential equations of these filtration laws are solved and the calculation formulas for the main operational parameters of the gallery are derived. These formulas should be used when drawing up a project for developing a new field and in solving other development tasks.

Key words: strip-shaped reservoir visco-plastic oil, straight-line gallery, water displacement, non-linear filtration law, filtration rate, pressure distribution, pressure gradient, gallery flow rate.

© Мустафаев С.Д., Кязимов Ф.К., Ханкишиева Т.У., 2018

Мустафаев С.Д., Кязимов Ф.К., Ханкишиева Т.У. Вытеснение несжимаемой вязко-пластичной нефти водой в однородной полосообразной залежи к прямолинейной галерее // Вектор ГеоНаук. 2018. Т.1. №4. С. 28-31.

Mustafayev S.D., Kyazimov F.K., Khankishiyeva T.U., 2018. Displacement of incompressible viscous-plastic oil with water in homogeneous binary layer to a rectal line gallery. Vector of Geosciences. 1(4): 28-31.