



УДК 622.276.52

ВЫВОД ТОЧНОЙ ФОРМУЛЫ ДЕБИТА НЕСОВЕРШЕННОЙ ПО СТЕПЕНИ РАСКРЫТИЯ ПЛОСКОЗАБОЙНОЙ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ АНОМАЛЬНОГО НЕФТЯНОГО ПЛАСТА

DERIVATION OF THE EXACT FORMULA OF THE RATE OF AN IMPERFECT BY THE DEGREE OF OPENING FLAT-BOTTOM PRODUCTION WELL OF THE ANOMAL OIL RESERVOIR

Мамедова Гюльбахар Гюльмамед кызы

кандидат технических наук,
доцент,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
gulbahar.mammadova@mail.ru

Mammadova Gulbahar Gulmammad

Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
gulbahar.mammadova@mail.ru

Аннотация. В статье выведена точная формула для аномальной плоскозобойной скважины, гидродинамически несовершенной по степени вскрытия пласта. Пласт, вскрытый такой скважиной разделен на две части: в верхней части пласта большой мощности имеется плоско-радиальное простое фильтрационное течение, а в нижней части пласта – течение сложное. Процесс фильтрации в зоне дренирования пласта описывается модифицированной моделью В.Ф. Шульман. Здесь производится замена заранее заданной плоскозобойной скважины, имеющей вогнутую поверхность полусферы в качестве забоя. Вторая скважина имеет плоскорадиальный простой режим фильтрации нефти в верхней части пласта и полусферически-радиальный режим фильтрации в нижней части пласта. Решены две стационарные гидродинамические задачи и рекомендован метод вывода формул для дебита нефти, фильтрующейся в скважину из обеих частей пласта отдельно; также путем их суммирования получается точная формула для определения общего дебита плоскозобойной скважины.

Annotation. The paper derives an exact formula for an anomalous flat-bottom well, hydrodynamically imperfect in terms of the degree of formation penetration. The formation penetrated by such a well is divided into two parts: in the upper part of the formation of high thickness there is a flat-radial simple filtration flow, and in the lower part of the formation there is a complex flow. The filtration process in the formation drainage zone is described by a modified model of V.F. Shulman. Here we replace a predetermined flat-radial well with a concave surface of a hemisphere as a bottom hole. The second well has a plane-radial simple mode of oil filtration in the upper part of the reservoir and a hemispherical-radial mode of filtration in the lower part of the reservoir. Two stationary hydrodynamic problems are solved and the method of derivation of formulas for oil flow rate filtered into the well from both parts of the formation separately is recommended; also by their summation the exact formula for determining the total flow rate of a flat-bottom well is obtained.

Ключевые слова: плоскозобойная скважина, степень вскрытия пласта, гидродинамически несовершенная, аномальная нефть, фильтрационный поток, модифицированная модель.

Keywords: flat-bottomed well, reservoir penetration degree, hydrodynamically imperfect, anomalous oil, seepage flow, modified model.

Введение

В истории развития науки нефтедобычи до сих пор не выведена точная формула полного дебита нефти гидродинамической незавершенной плоскозобойной скважины по степени вскрытия пласта. Только примерная формула дебита была предложена дважды; в первом из них приближенная формула дебита была выведена с использованием гамма-функции [1]; эта формула имеет сложную форму и использовалась для решения теоретических задач для месторождений, добывающих ньютоновскую нефть и разрабатываемых рядами добывающих скважин.

Вторую приближенную формулу предложил академик Л.С. Лейбензон. Вместо сложного фильтрационного течения в нижней части плоскозобойной скважины он предложил рассматривать полусферически-радиальное простое фильтрационное течение.

Такие скважины располагаются в мощном продуктивном пласте нефти и делят его на две части: в верхней части возникает плоско-радиальное простое течение, а в нижней – сложное перколяционное течение; его сложность состоит в том, что линии тока от зоны дренирования пласта к скважине представляют собой не радиальные прямые, а криволинейные линии.

Методы исследования

В статье предложен метод вывода точной формулы полного дебита скважины с гидродинамическим неполным плоским забоем по степени раскрытия пласта [2]. Так, в этом методе скважина с плоским забоем заменяется скважиной с вогнутой полусферической поверхностью. На рисунке 1



представлена схема двух эксплуатационных скважин с разными забоями. На рисунке обе скважины подчиняются модифицированной модели Шульмана процесса фильтрации пласта.

По степени вскрытия скважина гидродинамически несовершенная, а по характеру вскрытия – совершенная.

На рисунке 1 даны следующие условные обозначения: толщина слоя h ; толщина вскрытой верхней части слоя a ; толщина невскрытой части слоя $h-a$; радиус контура питания R_K ; радиус скважины r_c ; коэффициент пластовой фильтрации C_1 по скважине № 1; коэффициент пластовой фильтрации C_2 по скважине № 2; начальный градиент давления (НГД) в пласте для первой скважины составляет Γ_1 , а для второй скважины – Γ_2 .

Вопрос вывода точной формулы расхода гидродинамически несовершенной плоскозабойной скважины по степени вскрытия пласта является актуальным и имеет большое теоретическое и практическое значение; поскольку без этой формулы невозможно решить вопросы теоретического развития рассматриваемого продуктивного пласта [7–10].

При решении этой задачи предложенным интересным методом данная скважина с плоским забоем заменяется скважиной с забоем в виде вогнутой полусферической поверхности.

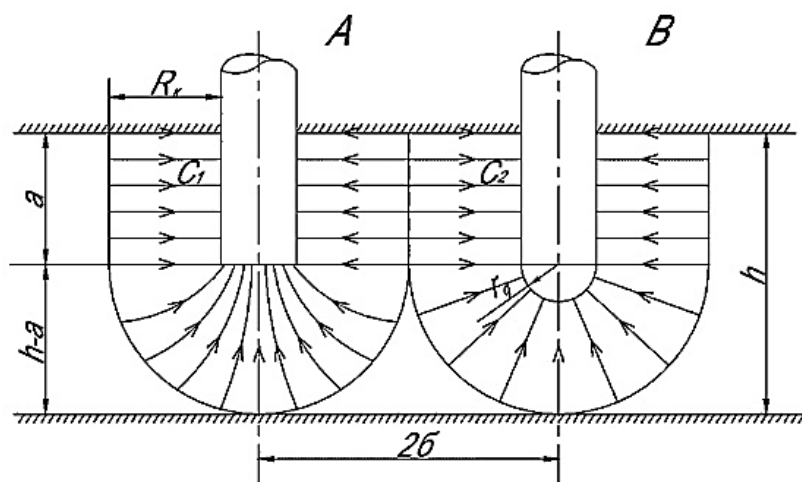


Рисунок 1 – Схема двух эксплуатационных скважин с разными забоями:
1 – скважина с плоским забоем, 2 – скважина с вогнутым полусферическим забоем

Таким образом, обе скважины являются гидродинамически несовершенными по степени вскрытия пласта и гидродинамически совершенными по характеру вскрытия пласта.

Для создания забоя скважины новой геометрической формы была предложена конструкция двухлопастного бурового инструмента специальной конструкции [6].

Ниже приведены решения двух стационарных гидродинамических задач (для скважины № 2) [1, 2, 3, 4].

Задача 1. Здесь закон фильтрации Шульмана взят в дифференциальной форме [5]:

$$v_1 = c_1 \left[\left(\frac{dP}{dr} \right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right]^n \tag{1}$$

Поскольку эта задача решается для верхней части пласта, площадь текущей цилиндрической поверхности перколяции составит:

$$F_1 = 2\pi r a \tag{2}$$

Здесь $\pi = 3,14$, r – текущие радиус-векторы.

Расход из верхней части скважины равен произведению F_1 :

$$Q_1 = v_1 F_1 = 2\pi a c_1 r \left[\left(\frac{dP}{dr} \right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right]^n \tag{3}$$

$$\frac{Q_1}{2\pi a c_1} = r \left[\left(\frac{dP}{dr} \right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right]^n \tag{5}$$



$$\left(\frac{Q_1}{2\pi a c_1}\right)^{\frac{1}{n}} = r^{\frac{1}{n}} \left[\left(\frac{dP}{dr}\right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right] \tag{7}$$

Разделим это дифференциальное уравнение в соответствии с переменными:

$$\left(\frac{Q_1}{2\pi a c_1}\right)^{\frac{1}{n}} = r^{\frac{1}{n}} \left(\frac{dP}{dr}\right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \cdot r^{\frac{1}{n}}.$$

$$\left(\frac{Q_1}{2\pi a c_1}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{1}{n}}} + G_2^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{1}{n}}} = dp^{\frac{1}{n}}. \tag{8}$$

$$dP = \left[\left(\frac{Q_1}{2\pi a c_1}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{1}{n}}} + G_2^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{1}{n}}} \right] \tag{9}$$

в дифференциальном уравнении (9), степень «n» может принимать различные значения.

Если n = 1, то получим уравнение:

$$dP = \frac{Q_1}{2\pi a c_2} \cdot \frac{dr}{r} + G_2 \frac{dr}{r}. \tag{9.1}$$

Если проинтегрировать это уравнение на следующих интервалах, то получим:

$$\int_{P_c}^{P_k} dP = \frac{Q_1}{2\pi a c_2} \int_{r_c}^{R_k} \frac{dr}{r^{2n}} = G_2 \int_{r_c}^{R_k} \frac{dr}{r}$$

Находим:

$$Q_1 = \frac{2\pi a c_2 (P_k - P_c - G_1 \ln \frac{R_k}{r_c})}{\ln \frac{R_k}{r_c}}. \tag{9.2}$$

Если решить это дифференциальное уравнение, то получится формула притока верхней части пласта Q₁ для скважины № 2.

Задача 2. Здесь также закон фильтрации выводится по формуле (1).

Площадь полусферической фильтрующей поверхности составляет:

$$F_2 = 2\pi r^2. \tag{10}$$

Тогда приток аномальный нефти, соответствующий скважине № 2 в нижней части пласта, будет следующим:

$$Q_2 = v_2 F_2 = 2\pi r^2 c_1 \cdot r_2 \left[\left(\frac{dP}{dr}\right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right]^n. \tag{11}$$

$$\frac{Q_2}{2\pi c_1} = r^2 \left[\left(\frac{dP}{dr}\right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right]^n. \tag{12}$$

$$\left(\frac{Q_2}{2\pi c_1}\right)^{\frac{1}{n}} = r^{\frac{2}{n}} \left[\left(\frac{dP}{dr}\right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} \right]^n$$



Разделим это дифференциальное уравнение в соответствии с переменными:

$$\left(\frac{Q_2}{2\pi c_1}\right)^{\frac{1}{n}} = r^{\frac{2}{n}} \left(\frac{dP}{dr}\right)^{\frac{1}{n}} - G_2^{\frac{1}{n}} r^{\frac{2}{n}}$$

$$\left(\frac{Q_2}{2\pi c_1}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{2}{n}}} + G_2^{\frac{1}{n}} \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{1}{n}}} = dP^{\frac{1}{n}} \tag{13}$$

$$dP = \left(\frac{Q_2}{2\pi c_1}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{2}{n}}} + G_2^{\frac{1}{n}} \frac{dr^{\frac{1}{n}}}{r^{\frac{1}{n}}} \tag{14}$$

Если решить это дифференциальное уравнение, то получится формула притока нижней части пласта Q_2 для скважины № 2.

Чтобы получить точную формулу полного дебита для данной скважины с плоским дном, необходимо просуммировать Q_1 и Q_2 , т.е.:

Предположим, что $n=1$, тогда уравнение (14) будет иметь следующий вид:

$$dP = \frac{Q_2}{2\pi c_1} \cdot \frac{dr}{r^2} + G_2 \frac{dr}{r} \tag{14.1}$$

Если проинтегрировать в заданных пределах:

$$\int_{P_w}^{P_c} dP = \frac{Q_2}{2\pi c_1} \int_{r_w}^{R_c} \frac{dr}{r^2} + G_2 \int_{r_w}^{R_c} \frac{dr}{r},$$

получим:

$$Q_2 = \frac{2\pi c_1 (P_c - P_w - G_2 \ln \frac{R_c}{r_w})}{\frac{1}{r_w} - \frac{1}{R_c}} \tag{14.2}$$

Если просуммировать дебиты, выраженные формулами (9.2) и (14.2), то получим точную формулу полного дебита скважины № 1:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2\pi \left[\frac{ac_2 (P_c - P_w - G_1 \ln \frac{R_c}{r_c})}{\ln \frac{R_c}{r_c}} + \frac{c_1 (P_c - P_w - G_2 \ln \frac{R_c}{r_c})}{\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_c}} \right] \tag{14.3}$$

Если задано несколько значений «n», то можно вывести большое количество точных формул полного дебита нефти для скважины № 1.

Таким образом, полученные формулы полного дебита нефти целесообразно использовать при решении различных теоретических задач разработки месторождений аномальных нефтей и определении показателей разработки [8, 9, 10].

Выводы

1. В статье выведена точная формула полного дебита нефти гидродинамически несовершенной плоскозобойной скважины в зависимости от степени вскрытия эксплуатируемого пласта в продуктивном пласте с аномальными нефтями большой мощности.

2. Пласт разделен данной скважиной на две части: в верхней части возникает плоско-радиальный простой фильтрационный поток аномальной нефти, а в нижней части – сложный фильтрационный поток.

3. Фильтрация аномальной нефти в пласте регулируется модифицированной моделью В.Ф. Шульмана.

4. Для решения проблемы скважину с плоским забоем заменяют скважиной с вогнутой полу-сферической поверхностью.



5. В верхней открытой пластовой части замещающей скважины возникает плоско-радиальное простое фильтрационное течение, а в нижней не вскрытой части скважины – полусферический радиальный простой фильтрационный поток.

6. Решены две стационарные гидродинамические задачи и получены отдельные дебитовые формулы фильтрации нефти в скважину из обеих частей пласта.

7. Суммируя эти два дебита, была получена точная формула полного дебита нефти данной скважины с плоским забоем.

8. Данную формулу следует использовать при решении различных теоретических вопросов разработки месторождений аномальной нефти, разрабатываемых рядами скважин, и определении показателей разработки.

Список литературы:

1. Щелкачев В.Н. Подземная гидравлика / В.Н. Щелкачев, Б.Б. Лапук // Гостоптехиздат. – М.; Л., 1949. – 523 с. – С. 126–128.
2. Пыхачев Г.Б. Подземная гидравлика / Г.Б. Пыхачев, Р.Г. Исаев. – М. : «Недра», 1973. – 359 с. – С. 90–93.
3. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика // Гостоптехиздат. – М., 1963. – 396 с. – С. 145–149.
4. Кристя Н. Подземная гидравлика // Гостоптехиздат. – М., 1961. – 343 с. – С. 107–108.
5. Теплообмен. – Т. 3: Теплообмен в реологических системах / Под общей редакцией академика АН СССР А.В. Лыкова и чл.-корр. АН БССР Б.М. Смольского // Наука и техника. – Мн., 1968. – 363 с. – С. 116–142.
6. Мустафаев С.Д. Влияние профиля бурящей скважины на решение теоретических задач разработки нефтяных месторождений / С.Д. Мустафаев, М.Г. Алиева // АНХ. – 2015. – № 9. – С. 14–17.
7. Салаватов Т.Ш. Сравнительный анализ показателей разработки морских месторождений двух различных по характеристикам нефти / Т.Ш. Салаватов, Г.Г. Мамедова // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М. : ВНИИОЭНГ, 2019. – № 1. – С. 58–60.
8. Mammadova G.G. Determination of well precise debit equation in the great thick layers .Hodja Akhmet Yassawi 4th international conference on scientific research February – 12–13, 2022. Turkey, Ankara, 2022. – P. 811–815.
9. Mamedova G.G. «Complications occurring in its use optimal for gas-condensate wells determination of technological work mode» Hodja Akhmet Yassawi 7 th International Conference on Scientific Research February 24–25, 2023 Mingachevir, Azerbaijan Mingachevir State University. – 2023. – P. 257–261.
10. Mamedova G.G. Derivation of the precise flow rate equation of a hydrodynamic incomplete operation well according to the degree of formation opening. Coia-2024 the 9th international conference on control and optimization with industrial applications 27–29 august 2024. – Istanbul, Türkiye, 2024. – P. 148–151. – URL : <http://coia-conf.org/en/> ; http://coia-conf.org/upload/editor/files/BA_COIA24.pdf

List of references:

1. Shchelkachev V.N. Underground hydraulics / V.N. Shchelkachev, B.B. Lapuk // Gostoptechizdat. M.; L., 1949. – 523 p. – P. 126–128.
2. Pykhachev G.B. Underground hydraulics / G.B. Pykhachev, R.G. Isaev. – M. : «Nedra», 1973. – 359 p. – P. 90–93.
3. Charniy I.A. Underground hydrogas dynamics / Gostoptechizdat. – M., 1963. – 396 p. – P. 145–149.
4. Kristea N. Underground hydraulics. Gostoptechizdat. – M., 1961. – 343 p. – P. 107–108.
5. Heat and mass transfer. – Vol. 3: Heat and mass transfer in rheological systems / Under the general editorship of academician of the Academy of Sciences of the USSR A.V. Lykova and chl.-corr. AN BSSR B.M. Smolskogo // Science and technology. – Mn., 1968. 363 p. – P. 116–142.
6. Mustafaev S.D. The influence of the profile of a drilling well on the solution of theoretical problems of the development of oil fields / S.D. Mustafaev, M.G. Aliyeva // ANH. – 2015. – № 9. – P. 14–17.
7. Salavatov T.Sh. Comparative analysis of indicators for the development of marine fields of two different characteristics of oil / T.Sh. Salavatov, G.G. Mamedova // Construction of oil and gas wells for land and sea. M. : VNIIOENG, 2019. – № 1. – P. 58–60.
8. Mammadova G.G. Determination of well precise debit equation in the great thick layers .Hodja Akhmet Yassawi 4th international conference on scientific research February – 12–13, 2022. Turkey, Ankara, 2022. – P. 811–815.



9. Mamedova G.G. «Complications occurring in its use optimal for gas-condensate wells determination of technological work mode» Hodja Akhmet Yassawi 7 th International Conference on Scientific Research February 24–25, 2023 Mingachevir, Azerbaijan Mingachevir State University. – 2023. – P. 257–261.

10. Mamedova G.G. Derivation of the precise flow rate equation of a hydrodynamic incomplete operation well according to the degree of formation opening. Coia-2024 the 9th international conference on control and optimization with industrial applications 27–29 august 2024. – İstanbul, Türkiye, 2024. – P. 148–151. – URL : <http://coia-conf.org/en/> ; http://coia-conf.org/upload/editor/files/BA_COIA24.pdf