УДК 658.58 DOI: 10.18698/0236-3941-2019-4-58-70

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ РАДИАЛЬНО-СФЕРИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ НЕФТИ В ОДНОРОДНОМ ПЛАСТЕ

**Дж.Н. Асланов** tribo72@mail.ru
**С.Д. Мустафаев**
**А.Х.С.А. Ахмедов**
**З.С. Гусейнли**

**Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджанская Республика**

**Аннотация**

Решена гидродинамическая нестационарная задача о радиально-сферическом потоке фильтрации вязкопластичной нефти в однородном пласте. Восстановление давления в пласте происходит после мгновенной остановки работы скважины на двух стадиях. На первой стадии зона возмущения начинается от скважины, расширяется и доходит до контура питания, а на второй стадии — до достижения статического давления во всех областях пласта. Дифференциальные уравнения решены при определенных начальных и граничных условиях, приняты законы распределения давления в пласте и соответствующие интегральные соотношения, выведены формулы для определения времени восстановления давления. На каждой стадии давление в пласте является функцией двух переменных, т. е. зависит как от пространственной координаты, так и от времени. Значение первого аргумента принято равным нулю. Получено выражение для восстановления забойного давления скважины. Скважины исследованы методом неустановившихся течений, приведена кривая восстановления давления, определены параметры пласта

**Ключевые слова**

*Нестационарный радиально-сферический поток фильтрации, вязкопластичная нефть, радиус зоны возмущения, пласт*

Поступила 16.10.2017
© Автор(ы), 2019

Нестационарные задачи о восстановлении давления в продуктивном ньютоновском нефтяном пласте в настоящее время решены для всех простых фильтрационных потоков (плоскопараллельных, плоскорадиальных и радиально-сферических). Для пластов, насыщенных вязкопластичной нефтью, аналогичные нестационарные задачи о восстановлении давления в пласте решены только для плоскопараллельного и плоскорадиального простого потока фильтрации [1, 2].

В настоящей работе предлагается решение подобной нестационарной задачи для радиально-сферического простого потока фильтрации.

Метод двустороннего восстановления забойного давления скважин, созданный с применением закона сообщающих сосудов для вязкопластичных жидкостей для системы скважина — нефтяной пласт, имеет большое практическое и теоретическое значение для разработки нефтяных месторождений [3, 4]

Фильтрация несжимаемой вязкопластичной нефти происходит в однородной полусферической залежи в вертикальной гидродинамически совершенной скважине, расположенной в центре залежи. Задача решается приближенным методом, разработанным Г.И. Баренблаттом [5–8].

Фильтрация подчиняется обобщенному закону Дарси и на контуре питания поддерживается постоянное давление $P_k$. В момент времени $t = 0$ отбор вязкопластичной нефти из пласта прекращается. Дифференциальное уравнение движения вязкопластичной нефти в указанном простом фильтрационном потоке имеет следующий вид:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = X_1 \frac{1}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} x^2 \left( \frac{\partial P}{\partial x} - G \right), \qquad (1)$$

где $X_1$ — коэффициент пьезопроводности пласта; $x$ — пространственная координата; $G$ — начальный градиент давления.

Это уравнение решается при следующих начальных и граничных условиях:

$$P(x,0) = P_k - \frac{Q\eta}{2\pi\ k}\left( \frac{1}{x} - \frac{1}{R} \right) + G(x - R); \qquad (2)$$

$$x^2 \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x = l(t)} = \frac{Q\eta}{2\pi\ k} + Gl^2(t); \qquad (3)$$

$$\frac{1}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} x^2 \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x = l(t)} = \frac{2G}{l(t)}; \qquad (4)$$

$$P(R,t) = P_k, \qquad (5)$$

где $Q$ — дебит нефти скважины; η — структурная вязкость вязкопластичной нефти в пластовых условиях; $k$ — проницаемость пласта по нефти; $l(t)$ — радиус зоны возмущения; $R$ — радиус контура питания.

Восстановление давления в залежи происходит в двух стадиях. На первой стадии восстановление давления в возмущенной части залежи принимается в виде

$$P(x,t)=P_0(t)+P_2(t)\frac{x^2}{l^2(t)}+P_3(t)\frac{x^3}{l^3(t)},\ 0\le x\le l(t), \tag{6}$$

где $P_0(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ — коэффициенты уравнения.

При $x = l(t)$ имеем $P\left[l(t),\,0\right]=P\left[l(t),\,t\right]$, тогда условие (2) запишем как

$$P\left[l(t)t\right]=P_k-\frac{Q\eta}{2\pi\,k}\left[\frac{1}{l(t)}-\frac{1}{R}\right]+G\left[l(t)-R\right], \tag{7}$$

а уравнение (6) запишем в виде

$$P\left[l(t),t\right]=P_0(t)+P_2(t)+P_3(t). \tag{8}$$

Из равенства выражений (7) и (8) получаем

$$P_0(t)+P_2(t)+P_3(t)=P_k-\frac{Q\eta}{2\pi k}\left[\frac{1}{l(t)}-\frac{1}{R}\right]+G\left[l(t)-R\right]; \tag{9}$$

из выражения (6) определяем

$$x^2\left.\frac{\partial P}{\partial x}\right|_{x\,=\,l(t)}=2P_2(t)\,l(t)+3P_3(t)\,l(t). \tag{10}$$

С учетом условий (3) и (10) найдем

$$2P_2(t)+3P_3(t)=\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+Gl(t), \tag{11}$$

из выражения (6) определим

$$\frac{1}{x_2}\frac{\partial}{\partial x}x^2\left.\frac{\partial P}{\partial x}\right|_{x\,=\,l(t)}=6P_2\left(t\right)\frac{1}{l^2(t)}+12P_3(t)\frac{1}{l^2(t)}. \tag{12}$$

Учитывая условия (3) и (12), получаем

$$6P_2(t)\frac{1}{l^2(t)}+12P_3(t)\frac{1}{l^2(t)}=\frac{2G}{l(t)}$$

или

$$3P_2(t)+6P_3(t)=Gl(t). \tag{13}$$

Решая уравнения (9), (11) и (13), находим

$$P_0(t)=P_k+\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{R}-GR-2\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+\frac{1}{3}Gl(t); \tag{14}$$

$$P_2(t)=P_k+\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+Gl(t); \tag{15}$$

$$P_3(t)=-\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}-\frac{1}{3}Gl(t). \tag{16}$$

Подставляя значения коэффициентов из (14), (15) и (16) в (6), получаем закон распределения давления в залежи в виде

$$P(x,t)=P_k+\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{R}-GR-2\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+\frac{1}{3}Gl(t)+$$

$$+\left[Gl(t)+2\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}\right]\frac{x^2}{l^2(t)}-\left[\frac{1}{3}Gl(t)+\frac{Q\eta}{2\pi k}-\frac{1}{l(t)}\right]\frac{x^3}{l^3(t)}. \tag{17}$$

Для определения $l(t)$ воспользуемся интегральным соотношением

$$\frac{\partial}{\partial t}\int\limits_{r_c}^{l(t)}(x,\,t)\;xdx-P\big[l(t),\,t\big]l(t)\frac{l(t)}{dt}=$$

$$=x_1 l(t)\left(\frac{dP}{dx}\right)+x_1 P\big[l(t),\,t\big]-x_1 P(r_c,\,t). \tag{18}$$

Из выражения (2) найдем

$$l(t)\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)_{x\,=\,l(t)}=\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+Gl(t), \tag{19}$$

$$P(r_c,\,t)=P_k-\frac{Q\eta}{2\pi k}\left(\frac{1}{r_c}-\frac{1}{R}\right)+G(r_c-R). \tag{20}$$

Учитывая (17), (7), (19) в (20), из (18) получаем

$$\frac{\partial}{\partial t}\int\limits_{r_c}^{l(t)}\Bigg\{P_k+\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{R}-GR-2\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+\frac{1}{3}Gl(t)+$$

$$+\left[Gl(t)+2\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}\right]\frac{x^2}{l^2t}-\left[\frac{1}{3}Gl(t)+\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}\right]\frac{x^3}{l^3t}\Bigg\}xdx- \tag{21}$$

$$-\left\{P_k \frac{Q\eta}{2\pi k}\left[\frac{1}{l(t)}-\frac{1}{R}\right]+G\left[l(t)-R\right]\right\} l(t)\frac{dl(t)}{dt}=$$

$$=x_1\left[\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{l(t)}+Gl(t)\right]+x_1\left\{P_k-\frac{Q\eta}{2\pi k}\left[\frac{1}{l(t)}-\frac{1}{R}\right]+G\left[l(t)-R\right]\right\}-$$

$$-x_1\left[P_k-\frac{Q\eta}{2\pi k}\left(\frac{1}{r_c}-\frac{1}{R}\right)+G(r_c-R)\right]. \qquad (21)$$

После математических преобразований имеем

$$\frac{7}{10}\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{\partial l(t)}{\partial t}-\frac{41}{20}Gl^2(t)\frac{\partial l(t)}{\partial t}=X_1\left[2Gl(t)+\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{r_c}\right]$$

или

$$\frac{-41Gl^2(t)+14\dfrac{Q\eta}{2\pi k}}{2Gl(t)+\dfrac{Q\eta}{2\pi k}\dfrac{1}{r_c}}\partial l(t)=20X_1\partial t.$$

Для интегрирования преобразуем левую сторону уравнения, тогда можно записать

$$\left[-\frac{41}{2}l(t)+\frac{41}{4G}\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{r_c}+\frac{14\dfrac{Q\eta}{2\pi k}-\dfrac{41}{4G}\left(\dfrac{Q\eta}{2\pi k r_c}\right)^2}{2Gl(t)+\dfrac{Q\eta}{2\pi k r_c}}\right]\partial l(t)=20X_1\partial t. \qquad (22)$$

Интегрируя последнее уравнение в пределах от 0 до $l(t)$ и от 0 до $t$, получаем выражение

$$-41l^2(t)+\frac{41}{G}\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{r_c}l(t)+\frac{2}{G}\left[14\frac{Q\eta}{2\pi k}-\frac{41}{4G}\left(\frac{Q\eta}{2\pi k}-\frac{41}{4G}\left(\frac{Q\eta}{2\pi k r_c}\right)\right)^2\right]\times$$

$$\times\ln\frac{2Gr_c l(t)+\dfrac{Q\eta}{2\pi k}}{\dfrac{Q\eta}{2\pi k}}=80X_1 t. \qquad (23)$$

Отсюда определяем время продвижения границы области влияния на первой стадии восстановления давления в виде

$$t=-\frac{41}{80X_1}l^2(t)+\frac{41}{80X_1G}\frac{Q\eta}{2\pi k r_c}l(t)+\frac{1}{40X_1G}\left[14\frac{Q\eta}{2\pi k}-\frac{41}{4G}\left(\frac{Q\eta}{2\pi k r_c}\right)^2\right]\times$$

$$\times \ln \frac{2Gr_c l(t) + \dfrac{Q\eta}{2\pi k}}{\dfrac{Q\eta}{2\pi k}}. \tag{24}$$

При $l(t) = R$ из (23) получим продолжительность первой стадии

$$t_0 =$$

$$= \frac{R^2}{80x_1} l^2(t) \left\{ -41 + \frac{41Q\eta}{2\pi k R r_c} + \frac{2}{GR^2}\left[ 14\frac{Q\eta}{2\pi k} - \frac{41}{4G}\left(\frac{Q\eta}{2\pi k r_c}\right)^2 \right] \ln \frac{2GRr_c + \dfrac{Q\eta}{2\pi k}}{\dfrac{Q\eta}{2\pi k}} \right\}. \tag{25}$$

За время $t_0$ зона возмущения, расширяясь, достигает контура питания и начинается вторая стадия процесса восстановления давления.

На второй стадии закон распределения давления в залежи принимается в виде

$$P(x, t) = P_0^*(t) + P_2^*(t)\frac{x^2}{R^2} + P_3^* \frac{x^3}{R^3}, \quad 0 \le x \le R. \tag{26}$$

При $x = R$, учитывая условие $P(R, t) = P_k$, запишем уравнение

$$P_0^*(t) + P_2^*(t) + P_3^*(t) = P_k. \tag{27}$$

Из выражения (25) определяем

$$\frac{\partial}{\partial x} x^2 \frac{\partial P}{\partial x}\Big|_{x=R} = 6P_2^*(t) + 12P_3^*(t); \tag{28}$$

из (17) найдем

$$\frac{\partial}{\partial x} x^2 \frac{\partial P}{\partial x}\Big|_{x=R} = 2GR; \tag{29}$$

из равенства (27) и (28) получаем

$$3P_2^*(t) + 6P_3^*(t) = GR. \tag{30}$$

Тогда

$$P_3^*(t) = \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t). \tag{31}$$

Подставляя значения $P_3^*(t)$ из (31) в (26), запишем

$$P_0^t(t) = P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t). \tag{32}$$

Подставляя значение $P_3^*(t)$ из (31) и $P_0^*(t)$ из (32) в (25), получаем

$$P(x,\, t) = \left[P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t)\right] + P_2^*\frac{x^2}{R^2} + \left[\frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t)\right]\frac{x^3}{R^3}, \tag{33}$$
$$0 \le x \le R.$$

Необходимо, чтобы уравнение (25) при $x = R$ удовлетворяло следующему интегральному соотношению:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_0^R P(x,\, t)xdx = X_1 R\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)_{x\,=\,R} + X_1 P(R, t) - X_1 P(0, t). \tag{34}$$

Из (33) определяем

$$R\frac{\partial P}{\partial x}|_{x\,=\,R} = \frac{1}{2}P_2^* + \frac{1}{2}GR;$$

$$P(R, t) = P_k; \tag{35}$$

$$P(0,\, t) = P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t). \tag{36}$$

Учитывая (33), (35) и (36), преобразуем (34) так:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_0^R \left\{\left[P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t)\right] + P_2^*(t)\frac{x^2}{R^2} + \left[\frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^* t\right]\frac{x^3}{R^3}\right\}xdx =$$
$$= X_1\left[\frac{1}{2}P_2^*(t) + \frac{1}{2}GR\right] + X_1 P_k - X_1\left[P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P_2^*(t)\right]$$
$$= X_1\left[P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{1}{2}P^*(t)\right],$$

отсюда

$$-\frac{R^2}{10}\frac{\partial P_2^*(t)}{\partial t} = X_1\left[P_2^*((t) + \frac{2}{3}GR\right]$$

или

$$\frac{\partial P_2^*(t)}{P_2^* t + \frac{2}{3}GR} = -\frac{10X_1}{R^2}\partial t. \tag{37}$$

Интегрируя это уравнение, получаем

$$P_2^*(t) = Cl^{-10X_1/R^2} - \frac{2}{3}GR. \tag{38}$$

В конце первой стадии, т. е. при $t = t_0$ и $l(t) = R$, из (15) находим

$$P_2(t_0) = 2\frac{Q\eta}{2\pi k}\frac{1}{R} + GR, \tag{39}$$

а из (39) имеем

$$P_2^*(t) = Cl^{(-10X_1/R)t_0} - \frac{2}{3}GR. \tag{40}$$

Из граничного условия $P_2(t) = P_2(t_0)$ определяем интегральную постоянную

$$C = \frac{2\dfrac{Q\eta}{2\pi kR} + \dfrac{5}{3}GR}{l^{-\frac{10X_1}{R^2}t_0}}. \tag{41}$$

Подставляя значение $C$ из (41) в (40), получаем

$$P_2(t) = \left(2\frac{Q\eta}{2\pi k} + \frac{5}{3} + GR\right)l^{-\frac{10X_1}{R^2}(t - t_0)} - \frac{2}{3}GR. \tag{42}$$

Подставляя значение $P_2^*(t)$ в (32), найдем

$$P(x, t) = \left[P_k - \frac{1}{6}GR - \frac{2}{3}GR\frac{x^2}{R^2} + \frac{1}{2}GR\frac{x^3}{R^3}\right] +$$
$$+\left(-\frac{1}{2} + \frac{x^2}{R^2} - \frac{1}{2}\frac{x^3}{R^3}\right)\left(2\frac{Q\eta}{2\pi kR} + \frac{5}{3}GR\right)l^{-\frac{10X_1}{R^2}(t - t_0)}. \tag{43}$$

При $x = 0$ из (43) определяем давление на забое скважины на второй стадии в виде

$$P(0, t) = P_c = P_k + \frac{1}{6}GR - \left(\frac{Q\eta}{2\pi kR} + \frac{5}{6}GR\right)l^{-\frac{10X_1}{R^2}(t - t_0)}. \tag{44}$$

Имеем

$$P_c = P_k - \Delta P, \tag{45}$$

где $\Delta P$ — полная депрессия.

Из равенств (44) и (45) получаем время восстановления давления на второй стадии

$$t = -\frac{R^2}{10X_1}\ln\frac{6\Delta P + GR}{6\dfrac{Q\eta}{2\pi kR} + 5GR} + t_0. \tag{46}$$

Подставляя значение $t_0$ из (24) в (46), определяем

$$t = -\frac{R^2}{10X_1}\ln\frac{6\Delta P + GR}{6\frac{Q\eta}{2\pi kR} + 5GR} + \frac{R^2}{80X_1}\times$$
$$\times\left\{-41 + \frac{41Q\eta}{2\pi kGRr_c} + \frac{2}{GR^2}\left[14\frac{Q\eta}{2\pi k} - \frac{41}{4G}\left(\frac{Q\eta}{2\pi k}\right)^2\right]\ln\frac{2GRr_c + \frac{Q\eta}{2\pi k}}{\frac{Q\eta}{2\pi k}}\right\}. \quad (47)$$

В конце второй стадии, т. е. при $t = t_\infty$, $t_0 = t_{00}$, имеем

$$\Delta P_{\text{II}} = \Delta P_0 = GR,$$

где $\Delta P_0$ — начальный период давления.

Тогда из (47) найдем полное время восстановления давления

$$t_{00} = -\frac{R^2}{10x_1}\ln\frac{7GR}{6\frac{Q\eta}{2\pi kR} + 5GR} + t_0. \quad (48)$$

Продолжительность второй стадии представим как

$$t_{00} - t_0 = -\frac{R^2}{10X_1}\ln\frac{7GR}{6\frac{Q\eta}{2\pi kR} + 5GR}. \quad (49)$$

Для конца первой стадии из (47) при $t = t_0$ имеем

$$-\frac{R^2}{10X_1}\ln\frac{6\Delta P + GR}{6\frac{Q\eta}{2\pi kR} + 5GR} = 0,$$

отсюда находим

$$\Delta P_1 = \frac{Q\eta}{2\pi kR} + \frac{2}{3}GR \quad (50)$$

и давление в скважине в конце первой стадии

$$P_c^{\text{I}} = P_k - \Delta P_1 - \frac{Q\eta}{2\pi kR} - \frac{2}{3}GR. \quad (51)$$

Давление в скважине в конце второй стадии будет равно

$$P_c^{\text{II}} = P_k - \Delta P_{\text{II}} = P_k - GR. \quad (52)$$

Таким образом, в конце второй стадии процесса восстановления давления в пласте получается статическое давление, которое выражается графически одной наклонной прямой.

**Выводы.** 1. Решена нестационарная гидродинамическая задача о сферически радиальной фильтрации вязкопластичной нефти в однородной залежи и определено время восстановления давления в продуктивном пласте.

2. Процесс восстановления давления в пласте после мгновенной остановки работы скважины имеет две стадии; в конце первой стадии зона возмущения, расширяясь, доходит до контура питания, а во второй стадии — до получения давления во всем объеме пласта.

3. Для обеих стадий дифференциальные уравнения движения нефти решены при определенных начальных и граничных условиях, приняты законы распределения давления в дренажной зоне и использованы соответствующие интегральные соотношения, выведены формулы для вычисления времени восстановления давления в пласте.

4. Процесс восстановления давления в пласте в каждой ее стадии выражается функцией двух переменных, т. е. давление зависит как от пространственной координаты, так и от времени. Принимая значение первого аргумента равным нулю, получаем выражение для восстановления давления на забое скважины. Это дает возможность интерпретировать результаты исследования скважины путем снятия кривой восстановления забойного давления и определить все гидродинамические параметры пласта.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Гурбанов С.Г., Дадашева Е.Д., Мустафаев С.Д. О некоторых задачах восстановления давления при фильтрации неньютоновских нефтей в пористой среде. *Тр. Азерб. НИИ по добыче нефти*, 1972, № 23, с. 322–337.

[2] Мустафаев С.Д., Гасымова С.А. Задача о восстановлении давления в круговом пласте при плоскорадиальной нестационарной фильтрации неньютоновских нефтей. *Технологии нефти и газа*, № 4, 2017, с. 46–50.

[3] Мирзаджанзаде А.Х., Ковалев А.Г., Зайцев Ю.В. Особенности эксплуатации месторождений аномальных нефтей. М., Недра, 1972.

[4] Огибалов П.М., Мирзаджанзаде А.Х. Нестационарные движения вязкопластичных сред. М., Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1970.

[5] Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. М., Недра, 1973.

[6] Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н. и др. Подземная гидравлика. М., Недра, 1986.

[7] Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. М., Гостопмехиздат, 1961.

[8] Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. М.-Л., Гостопмехиздат, 1949.

**Асланов Джамаладдин Нураддин оглы** — доцент Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (Азербайджанская Республика, Баку, AZ1010, пр-т Азадлыг, д. 20).

**Мустафаев Сафа Дадаш оглы** — доцент Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (Азербайджанская Республика, Баку, AZ1010, пр-т Азадлыг, д. 20).

**Ахмедов Али Хикмет Солтан Ахмед оглы** — доцент Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (Азербайджанская Республика, Баку, AZ1010, пр-т Азадлыг, д. 20).

**Гусейнли Зенфира Сейди кызы** — д-р философии по технике, ассистент кафедры «Нефтегазовое оборудование» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (Азербайджанская Республика, Баку, AZ1010, пр-т Азадлыг, д. 20).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Асланов Дж.Н., Мустафаев С.Д., Ахмедов А.Х.С.А. и др. Определение времени восстановления давления при нестационарной радиально-сферической фильтрации вязкопластичной нефти в однородном пласте. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2019, № 4, с. 58–70. DOI: 10.18698/0236-3941-2019-4-58-70

## DETERMINING PRESSURE RECOVERY TIME FOR NON-STEADY-STATE SPHERICAL FLOW OF VISCOPLASTIC OIL IN A HOMOGENEOUS FORMATION

**J.N. Aslanov** tribo72@mail.ru
**S.D. Mustafayev**
**A.Kh.S.A. Akhmedov**
**Z.S. Huseynli**

**Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Republic of Azerbaijan**

**Abstract**

The paper solves a non-steady-state hydrodynamic problem concerning a spherical flow of viscoplastic oil in a homogeneous formation. Pressure recovery in the formation occurs in two stages after well operation stops instantaneously. At the first stage the perturbation region appears at the well, expands and eventually reaches the external boundary, and keeps expanding during the second stage until steady-state pressure is reached in every formation region. We solved the differential equations for specific initial and boundary conditions, assuming pressure distribution laws over

**Keywords**

*Non-steady-state spherical flow, viscoplastic oil, perturbation region radius, formation*

the formation and respective integral relations, and derived equations to determine pressure recovery time. At each stage pressure in the formation is a function of two variables, that is, a spatial coordinate and time. We assume that the first variable equals zero. We derived an expression for recovering the bottomhole pressure in the wellbore. We used the transient flow method to study the wells, plotted the pressure recovery curve (PRC) and determined formation parameters

Received 16.10.2017
© Author(s), 2019

## REFERENCES

[1] Gurbanov S.G., Dadasheva E.D., Mustafaev S.D. On some problems of pressure restoration at filtration of non-Newtonian oils in porous medium. *Tr. Azerb. NII po dobyche nefti*, 1972, no. 23, pp. 322–337 (in Russ.).

[2] Mustafaev S.D., Gasymova S.A. The problem of pressure recovery in a circular formation in the case of a flat-radial nonstationary filtration of non-Newtonian oils. *Tekhnologii nefti i gaza*, no. 4, 2017, pp. 46–50 (in Russ.).

[3] Mirzadzhanzade A.Kh., Kovalev A.G., Zaytsev Yu.V. Osobennosti ekspluatatsii mestorozhdeniy anomal'nykh neftey [Special aspects of anomalous oil fields exploitation]. Moscow, Nedra Publ., 1972.

[4] Ogibalov P.M., Mirzadzhanzade A.Kh. Nestatsionarnye dvizheniya vyazkoplastichnykh sred [Non-stationary movement of viscoplastic medium]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1970.

[5] Pykhachev G.B., Isaev R.G. Podzemnaya gidravlika [Underground hydraulics]. Moscow, Nedra Publ., 1973.

[6] Basniev K.S., Vlasov A.M., Kochina I.N., et al. Podzemnaya gidravlika [Underground hydraulics]. Moscow, Nedra Publ., 1986.

[7] Pykhachev G.B., Isaev R.G. Podzemnaya gidravlika [Underground hydraulics]. Moscow, Gostopmekhizdat Publ., 1961.

[8] Shchelkachev V.N., Lapuk B.B. Podzemnaya gidravlika [Underground hydraulics]. Moscow, Leningrad, Gostopmekhizdat Publ., 1949.

**Aslanov J.N.** — Assoc. Professor, Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig prospekt 20, Baku, AZ1010 Republic of Azerbaijan).

**Mustafayev S.D.** — Assoc. Professor, Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig prospekt 20, Baku, AZ1010 Republic of Azerbaijan).

**Akhmedov A.Kh.S.A.** — Assoc. Professor, Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig prospekt 20, Baku, AZ1010 Republic of Azerbaijan).

**Huseynli Z.S.** — Doctor of Philosophy in Engineering, Assistant Department of Oil-Gas Eguipment, Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig prospekt 20, Baku, AZ1010 Republic of Azerbaijan).

**Please cite this article in English as:**

Aslanov J.N., Mustafayev S.D., Akhmedov A.Kh.S.A., et al. Determining pressure recovery time for non-steady-state spherical flow of viscoplastic oil in a homogeneous formation. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2019, no. 4, pp. 58–70 (in Russ.).
DOI: 10.18698/0236-3941-2019-4-58-70


В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография авторов
**Э.Л. Макарова, Б.Ф. Якушина**

**«Теория свариваемости сталей и сплавов»**

Рассмотрены теоретические и практические аспекты свариваемости конструкционных сталей и сплавов. Приведены экспериментальные методы оценки показателей свариваемости с использованием сварочных технологических проб и специализированных машинных испытаний. Показана возможность применения расчетных методов, реализуемых с помощью компьютерных технологий на базе специализированного программного обеспечения. На основе анализа металлургических процессов в сварочной ванне, кристаллизации металла шва, фазовых и структурных превращений в твердом металле в процессе сварочного термического цикла трактуются результаты оценки свариваемости. Представлены принципиальные металлургические, технологические и конструктивные способы обеспечения достаточной свариваемости сталей и сплавов.
Для разработчиков свариваемых материалов и специалистов-проектировщиков технологических процессов сварки конструкций, студентов и аспирантов, изучающих теорию сварочных процессов.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
+7 (499) 263-60-45
press@bmstu.ru
http://baumanpress.ru