

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 52-61. ISSN 1998-8443 (print)
Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 2 (142). P. 52-61. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 622.276.2

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-2-52-61

EDN: ZXQANQ

УЧЕТ ПЕРЕТОКА ЖИДКОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В ПЛАСТАХ, РАЗДЕЛЕННЫХ ГЛИНИСТЫМ ПРОПЛАСТКОМ

Гульнара Ришадовна Измайлова¹, Альбина Акрамовна Мугатабарова²

¹Институт нефти и газа Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиал в г. Октябрьском), Октябрьский, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹gulena-86@mail.ru

²mugatabarova@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Гульнара Ришадовна Измайлова,
gulena-86@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается задача о нахождении перепада давления в двух параллельных пластах, эксплуатируемых горизонтальными скважинами. При этом пласты разделены между собой слабопроницаемой глинистой перегородкой. Задача решается аналитически методом преобразований Лапласа и Фурье. Для удобного практического использования полученные

решения преобразуются в безразмерный вид. В работе построены графики зависимостей перепадов давлений в обоих пропластках от времени и проведен анализ полученных решений в зависимости от соотношений проницаемостей пластов и перемычки. Полученные решения могут служить для оценки падения давлений при разработке пластов, чередующихся глинистыми пропластками.

Ключевые слова: рентгеновский метод, резистивиметрический метод, относительная фазовая проницаемость

© Измайлова Г. Р., Мугатабарова А. А., 2023

Для цитирования: Измайлова Г. Р., Мугатабарова А. А. Учет перетока жидкости при определении перепада давления в пластах, разделенных глинистым пропластком // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 52-61. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-52-61>.

Original article

ACCOUNTING FOR FLUID FLOW IN DETERMINING THE PRESSURE DROP IN FORMATIONS SEPARATED BY A CLAY INTERLAYER

Gulnara R. Izmailova¹, Albina A. Mugatabarova²

¹Institute of Oil and Gas, Ufa State Petroleum Technological University
(Branch in Oktyabrsky), Oktyabrsky, Russia

²Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹gulena-86@mail.ru

²mugatabarova@mail.ru

Corresponding author: **Gulnara R. Izmailova**, gulena-86@mail.ru

Abstract. The article deals with the problem of determining the pressure drop in two parallel formations operated by horizontal wells. At the same time, the layers are separated by a low permeable clay partition. The problem is solved analytically by the method of Laplace and Fourier transformations. For convenient practical use, the solutions obtained are transformed into a dimensionless form. In this paper,

graphs of the dependences of pressure drops in both layers on time are constructed and the analysis of the solutions obtained is carried out depending on the ratios of the permeability of the layers and the bridge. The solutions obtained can be used to estimate the pressure drop during the development of layers alternating with clay interlayer.

Keywords: permeability, horizontal wells, overflow, pressure drop, piezo conductivity, Laplace transform, Fourier transform, clay interlayer

For citation: Izmailova G. R., Mugatabarova A. A. Uchet peretoka zhidkosti pri opredelenii perepada davleniya v plastah, razdelennyh glinistym proplastkom [Accounting for Fluid Flow in Determining the Pressure Drop in Formations Separated by a Clay Interlayer]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 2 (142), pp. 52-61. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-52-61>.

Большая часть неразработанных месторождений относится к трудноизвлекаемым типам - залежам высоковязкой нефти, истощенным продуктивным пластам, низкопроницаемым коллекторам, пластам со сложным строением, слоисто-неоднородным пластам, а также расположенным вблизи населенных пунктов и др. [1].

Если повсеместно применяемыми способами разработки нефтяных месторождений не удастся добиться спрогнозированного уровня добычи нефти, что является результатом необходимости освоения месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти, актуальна разработка месторождений горизонтальными скважинами [2]. Их применение способствует расширению дренажных областей скважин, увеличению их продуктивности и текущей нефтеотдачи пластов и во многих случаях, в зависимости от конкретных геолого-физических и гидродинамических условий залежей, извлекаемых запасов углеводородов.

Теоретическому и экспериментальному изучению аспектов притока жидкости к горизонтальным скважинам посвящено немало исследований, в том числе работы [3-7].

В реальных условиях практически все месторождения представляют собой многослойную неоднородную залежь с чередованием высоко- и низкопроницаемых пропластков, иногда разделенных слабопроницаемыми пропластками - перемычками. Если продуктивный горизонт состоит из пластов различной проницаемости, разделенных слабопроницаемой перемычкой, то между пластами может осуществляться гидродинамическая связь. Приток жидкости осуществляется с учетом перетоков между пластами. Из-за различной проницаемости пластов и перемычки выработка запасов пластов будет неравномерной [8-10]. Рассмотрим два пласта, разделенных слабопроницаемым глинистым пропластком, когда между пластами присутствует переток жидкости.

Направление перетока флюидов зависит от расположения зон пониженного давления относительно глинистой перемычки.

Пусть разрабатываемые пласты разделены друг от друга слабопроницаемой перемычкой, как показано на рисунке 1. И в верхнем, и в нижнем пластах действуют горизонтальные скважины бесконечной длины с постоянным дебитом, приходящимся на единицу длины. Оси скважин считаются параллельными прямыми. Вследствие существующей симметрии движение жидкости в любой плоскости, перпендикулярной осям скважин, будет одинаковым. Поэтому достаточно рассмотреть его в одной из этих плоскостей.

Проведем плоскость xOy , перпендикулярную осям скважин. В этой плоскости ось Oy направим перпендикулярно плоскости подошвы и кровли пласта, а ось Ox - через середины высоты перемычки.

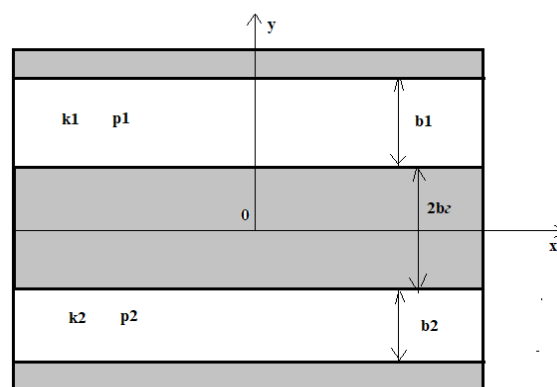


Рисунок 1. Схема расположения пластов, глинистой перемычки и скважин

Figure 1. The layout of the layers, clay interlayer and wells

В выбранной системе координат распределение функции давления удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial^2 p_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p_j}{\partial y^2} = \frac{1}{\kappa_j} \cdot \frac{\partial p_j}{\partial t}, \quad (1)$$

$$j = 1 \text{ для } -\infty < x < \infty, b_r < y < b_1 + b_r \\ j = 2 \text{ для } -\infty < x < \infty, -b_2 - b_r < y < -b_r$$

где p_2, p_1 - функции давления в сечении соответственно верхнего и нижнего пластов;

κ_1, κ_2 - коэффициенты пьезопроводности;

$b_1, b_2, 2b_r$ - мощности пластов и перемычки;

t - время.

Начальное условие для поставленной задачи имеет вид:

$$p_j|_{t=0} = p_0. \quad (2)$$

Граничные условия имеют вид:

$$p_j = p_0, \quad \frac{\partial p_j}{\partial x} \Big|_{|x| \rightarrow \infty} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial y} \Big|_{y=b_r+b_1} = 0, \quad \frac{\partial p_2}{\partial y} \Big|_{y=-b_2-b_r} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial y} \Big|_{y=b_r} = \alpha_1(p_1|_{y=b_r} - p_2|_{y=-b_r}), \quad (5)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial y} \Big|_{y=-b_r} = \alpha_2(p_1|_{y=b_r} - p_2|_{y=-b_r}), \quad (6)$$

$$\left(r_j \cdot \frac{\partial p_j}{\partial r_j} \right)_{r_j \rightarrow 0} = \frac{\mu Q_j}{2\pi k_j h} \equiv A_j, \quad (7)$$

где $r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2$,

$r_2^2 = (x - x_2)^2 + (y + y_2)^2$;

$\alpha_j = \frac{k_r}{2k_j b_r}$;

Q_1, Q_2 - дебиты скважин, приходящиеся на длину h ;

μ - коэффициент вязкости жидкости;

k_1, k_2, k_r - коэффициенты проницаемости пластов и перемычки.

Для решения поставленной задачи применим к (1) интегральное преобразование Лапласа:

$$\bar{p}_j(x, y, \lambda) = \int_0^\infty e^{-\lambda t} p_j(x, y, t) dt.$$

Здесь $\bar{p}_j$ - изображение функции p_j ;

λ - параметр преобразования (8).

Пропуская промежуточные расчеты (преобразование Фурье), в итоге получим два уравнения для вычисления изменения давления в верхнем и нижнем пропластах в следующем виде:

$$p_0 - p_{1c} = A_1 \left\{ \frac{\pi \eta^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\omega}(\eta + \sigma)^{\frac{3}{2}}} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{2\omega(\eta + \sigma)\theta\tau}{\eta(1 + \theta)}} + \frac{2\sigma\sqrt{2\pi\theta}}{(\eta + \sigma)\sqrt{1 + \theta}} \sqrt{\tau} + \frac{1 - \theta}{\sqrt{2\omega}} \cdot \frac{\eta\sqrt{\pi}}{(\eta + \sigma)\sqrt{\theta}(1 + \theta)} \right. \\ \left. \cdot 1\tau 1 - \exp \left[-2\omega(\eta + \sigma)\theta\tau\eta(1 + \theta) + A_2 A_1 \pi \eta 2\omega\eta + \sigma 32g\tau + \ln b_1 2\pi r_c \sin \pi b_1 (y_1 - b_r) \right] \right\}; \quad (9)$$

$$p_0 - p_{2c} = A_2 \left\{ \frac{\pi\sigma}{\sqrt{\eta\omega}(\eta + \sigma)^{\frac{3}{2}}} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{2\omega(\eta + \sigma)\theta\tau}{\eta(1 + \theta)}} + \frac{2\sqrt{2\pi\theta}}{(\eta + \sigma)\sqrt{1 + \theta}} \sqrt{\tau} - \frac{1 - \theta}{\sqrt{2\omega}} \cdot \right. \\ \cdot \frac{\eta\sqrt{\pi}}{\sqrt{\theta}(1 + \theta)(\eta + \sigma)} x \frac{1}{\sqrt{\tau}} \left[1 - \exp \left(-\frac{2\omega(\eta + \sigma)\theta\tau}{\eta(1 + \theta)} \right) \right] \\ + \frac{A_1}{A_2} \frac{2\sigma\sqrt{2\pi\theta}}{(\eta + \sigma)\sqrt{1 + \theta}} \sqrt{\tau} \exp \left(-\frac{\bar{z}^2(1 + \theta)}{8\theta\tau} \right) + \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{\pi\sigma\bar{z}}{\eta + \sigma} \operatorname{erfc} \left(\frac{\bar{z}\sqrt{1 + \theta}}{2\sqrt{2\theta\tau}} \right) \\ \left. - \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{\pi\sigma\sqrt{\eta}}{2\sqrt{\omega}(\eta + \sigma)^{\frac{3}{2}}} + \ln \frac{b_2^2}{2\pi r_c \sin \frac{\pi}{b_2} (y_2 - b_r)} \right\}, \quad (10)$$

где

$$\eta = \frac{b_2}{b_1}; \quad \omega = \alpha_1 b_1; \quad \sigma = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}; \quad \theta = \frac{x_2}{x_1}; \quad \tau = \frac{x_1 t}{b_1^2}; \quad \bar{z} = \frac{|x_1 - x_2|}{b_1};$$

$$g(\tau) = \exp \left[-\bar{z} \sqrt{\omega \left(1 + \frac{\sigma}{\eta} \right)} \right] \operatorname{erfc} \left(\frac{\bar{z} \sqrt{1 + \theta}}{2\sqrt{2\theta\tau}} - \sqrt{\frac{2\omega\theta(\eta + \sigma)\sigma}{\eta(1 + \theta)}} \right) - \\ - \exp \left[\bar{z} \sqrt{\omega \left(1 + \frac{\sigma}{\eta} \right)} \right] \operatorname{erfc} \left(\frac{\bar{z} \sqrt{1 + \theta}}{2\sqrt{2\theta\tau}} + \sqrt{\frac{2\omega\theta(\eta + \sigma)\sigma}{\eta(1 + \theta)}} \right).$$

При $\eta = 1$, $\bar{z} = 0$, $y_1 = y_2 = \frac{b_1}{2}$, $b_r = \frac{b_1}{4}$ уравнения (9) и (10) примут вид:

$$\Delta p_{c1}(\tau) = \frac{\sqrt{\pi\nu}}{(1+\nu)^{3/2}} \left[\frac{\sqrt{\pi}(\nu-q)}{\sqrt{\omega}} \cdot \operatorname{erf} \sqrt{2\omega\tau} + 2\sqrt{2\tau}(1+q) + \frac{\sqrt{\nu(1-\nu)}}{\sqrt{2\tau\omega}} \cdot (1 - e^{-2\omega\tau}) \right] + \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi}\bar{r}_c}; \quad (11)$$

$$\Delta p_{c2}(\tau) = \frac{\sqrt{\pi\nu}}{(1+\nu)^{3/2}} \left[\frac{\sqrt{\pi}(\nu-q)}{\nu\sqrt{\omega}} \cdot \operatorname{erf} \sqrt{2\omega\tau} + 2\sqrt{2\tau}(1+q) - \frac{q(1-\nu)}{\sqrt{2\tau\omega}} \cdot (1 - e^{-2\omega\tau}) \right] + \frac{q}{\nu} \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi}\bar{r}_c}, \quad (12)$$

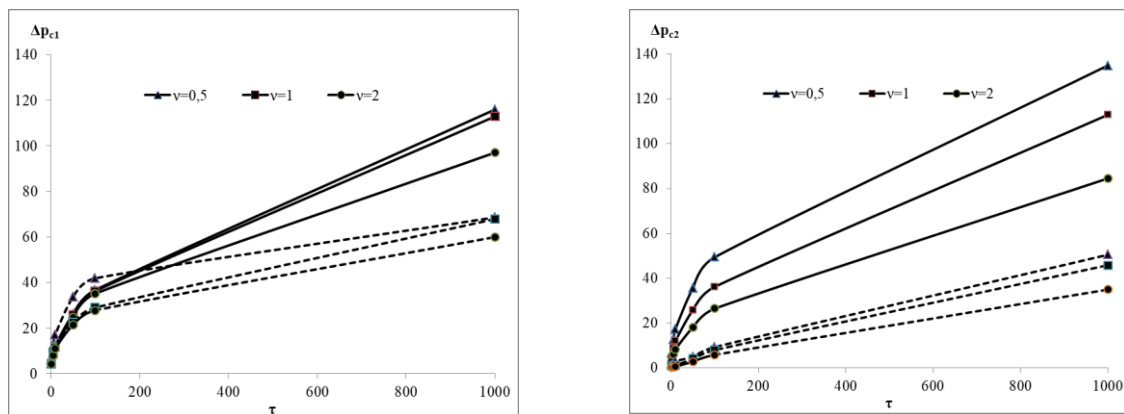
где

$$q = \frac{Q_2}{Q_1}; \quad \bar{r}_c = \frac{r_c}{b_1}; \quad \nu = \frac{k_1}{k_2};$$

$$\Delta p_{cj}(\tau) = \frac{1}{A_1} (p_0 - p_{cj}); j = 1, 2.$$

Выражения (11) и (12) удобны для применения. Для примера при $\nu = 0,5; 1; 2$; $\omega = 0,1; 0,01; 0,001$; $Q_2 = 0$; $Q_1 = Q_2$ выполнен расчет и вычислены значения безразмерного перепада давления $\Delta p_{cj}(\tau)$ в зависимости от безразмерного времени τ . Результаты решения приведены на рисунках 2-5, на которых

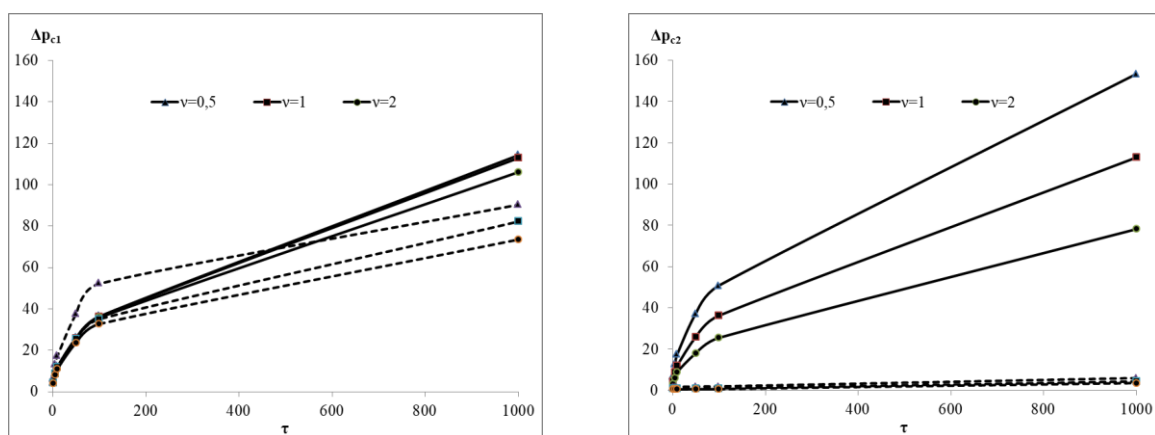
представлено, что со снижением проницаемости глинистого пропластка между пластами перепад давления во втором пласте, где скважина отсутствует, уменьшается, что связано с понижением перетока жидкости из второго пласта в первый, где имеется эксплуатационная скважина.



сплошные линии - $Q_1 = Q_2$; пунктирные линии - $Q_2 = 0$, $\omega = 0,1$
solid lines - $Q_1 = Q_2$, dotted lines - $Q_2 = 0$, $\omega = 0,1$

Рисунок 2. Зависимость перепадов безразмерного давления от безразмерного времени при различных соотношениях проницаемостей

Figure 2. Dependence of dimensionless pressure drops on dimensionless time at different permeability ratios

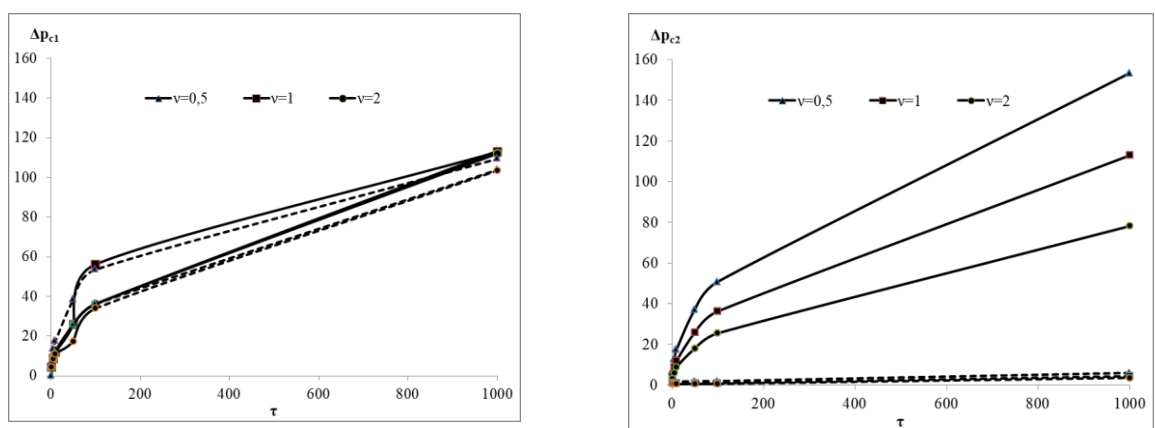


сплошные линии - $Q_1 = Q_2$; пунктирные линии - $Q_2 = 0$, $\omega = 0,01$

solid lines - $Q_1 = Q_2$; dotted lines - $Q_2 = 0$, $\omega = 0,01$

Рисунок 3. Зависимость перепадов безразмерного давления от безразмерного времени при различных соотношениях проницаемостей

Figure 3. Dependence of dimensionless pressure drops on dimensionless time at different permeability ratios

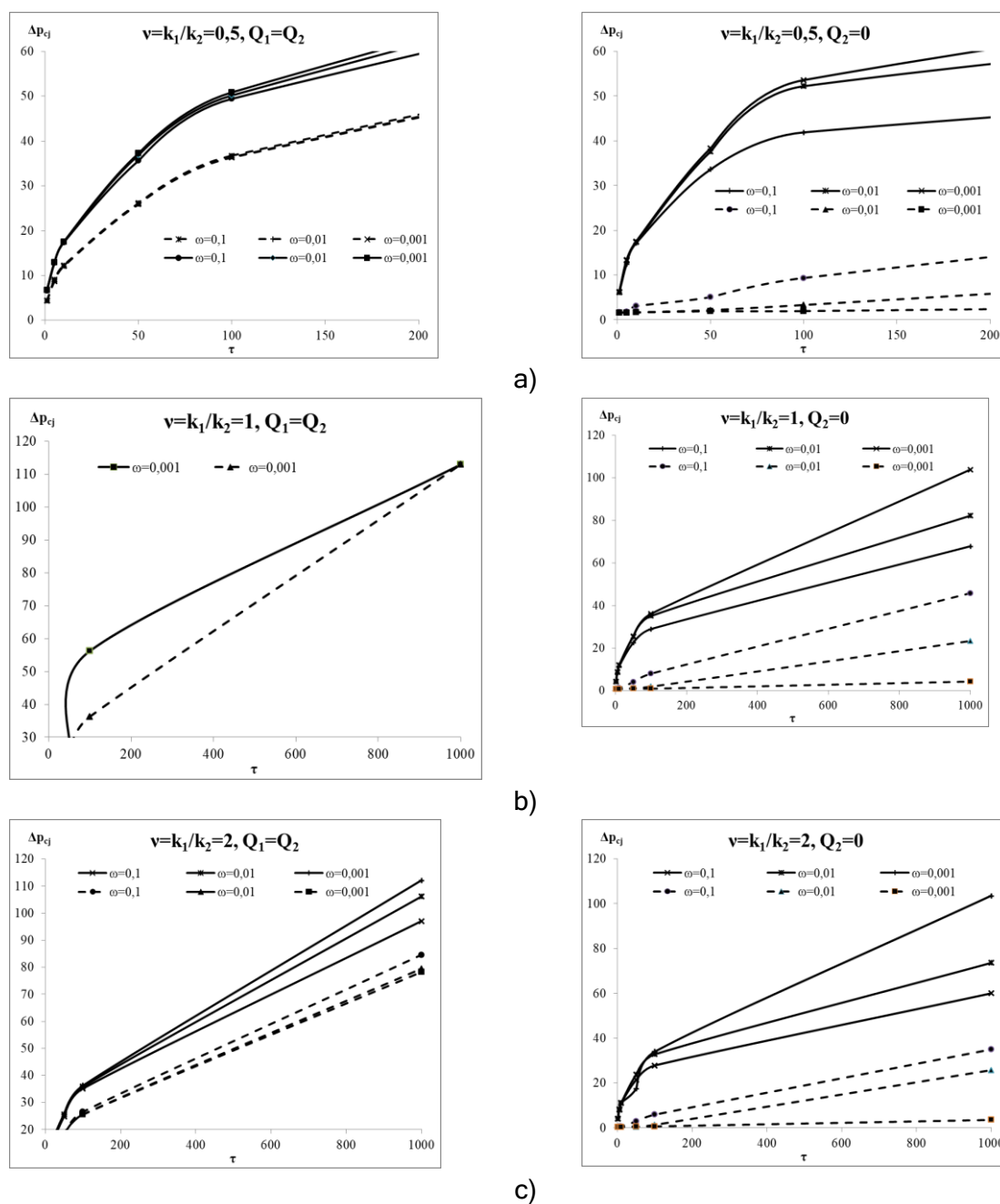


сплошные линии - $Q_1 = Q_2$; пунктирные линии - $Q_2 = 0$, $\omega = 0,001$

solid lines - $Q_1 = Q_2$; dotted lines - $Q_2 = 0$, $\omega = 0,001$

Рисунок 4. Зависимость перепадов безразмерного давления от безразмерного времени при различных соотношениях проницаемостей верхнего и нижних пластов

Figure 4. Dependence of dimensionless pressure drops on dimensionless time at different permeabilities of the upper and lower layers



сплошные линии - Δp_{c2} ; пунктирные линии - Δp_{c1}

solid lines - Δp_{c2} ; dotted lines - Δp_{c1}

Рисунок 5. Зависимость перепадов безразмерного давления от безразмерного времени при различных значениях проницаемости перегородки

Figure 5. Dependence of dimensionless pressure drops on dimensionless time at different values of partition permeability

С увеличением проницаемости второго пласта (проницаемость первого пласта не меняется) перепады давления у забоев скважин понижаются.

В случае, когда проницаемость первого пласта в два раза больше проницаемости второго, со снижением проницаемости раздела перепады давления в первом пласте снижаются, а во втором - повышаются.

В случае, когда проницаемость верхнего пласта в два раза меньше проницаемости нижнего пласта (рисунок 5, а) видно, что с уменьшением проницаемости перегородки перепад давления в верхнем пласте увеличивается, а в нижнем - уменьшается при $Q_1 = Q_2$. Обратная ситуация наблюдается для нижнего пласта в случае отсутствия дебита.

Когда проницаемости и дебиты в обоих пластах равны, изменение проницаемости глинистого пропластка не оказывает никакого влияния на изменения перепада давления в пластах (рисунок 5, б). При больших временах кривые сливаются.

На рисунке 5, с наблюдается противоположная ситуация (рисунку 5, а), т.е. перепад давления на верхнем участке уменьшается, а в нижнем - увеличивается при $Q_1 = Q_2$.

Исходя из анализа рисунка 5, можно заключить, что проницаемость перемычки практически не оказывает никакого влияния на перепад давлений в обоих пластах в случае отсутствия дебита в нижнем пласте.

Выводы

Получено решение задачи (1)–(8) о распределении давления в двух параллельных пластах, разделенных глинистым слабопро-

ницаемым пропластком. Выявлено, что со снижением проницаемости глинистого пропластка между пластами перепад давления во втором пласте, где скважина отсутствует, уменьшается. С увеличением проницаемости второго пласта перепады давления у забоев скважин понижаются. Когда проницаемость первого пласта в два раза больше проницаемости второго, со снижением проницаемости глинистого пропластка перепады давления в первом пласте снижаются, а во втором - повышаются.

В случае, когда проницаемость верхнего пласта в два раза меньше проницаемости нижнего пласта, с уменьшением проницаемости перемычки перепад давления в верхнем пласте увеличивается, а в нижнем - уменьшается при равных дебитах. Обратная ситуация наблюдается для нижнего пласта в случае отсутствия дебита.

Когда проницаемости и дебиты в обоих пластах равны, изменение проницаемости глинистого пропластка не оказывает никакого влияния на изменения перепада давления в пластах.

Проницаемость глинистой перемычки практически не оказывает никакого влияния на перепад давлений в обоих пластах в случае отсутствия дебита в нижнем пласте.

Решение задачи о распределении давления в двух параллельных пластах, разделенных глинистым слабопроницаемым пропластком, может получить практическое применение для многослойных неоднородных залежей с чередованием высоко- и низкопроницаемых пропластков, разделенных слабопроницаемыми перемычками.

Список источников

1. Гусейнзаде М.А., Колосовская А.К. Упругий режим в однопластовых и многопластовых системах. М.: Недра, 1972. 454 с.
2. Велиев М.Н., Мамедкеримов В.И. О взаимодействии двух линейных пластов через слабо-

References

1. Guseinzade M.A., Kolosovskaya A.K. *Uprugii rezhim v odnoplastovykh i mnogoplastovykh sistemakh* [Elastic Mode in Single-Layer and Multi-Layer Systems]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 454 p. [in Russian].

проницаемые перемишки между ними // Известия АН Азерб. ССР, серия физико-техн. и матем. наук. 1972. № 4.

3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.

4. Wilkerson J.P., Smith J.H., Stagg T.O., Walters D.A. Horizontal Drilling Techniques at Prudhoe Bay, Alaska // *Journal of Petroleum Technology*. 1988. Vol. 40, Issue 11. P. 1445-1451. DOI: 10.2118/15372-PA.

5. Велиев М.Н. Приток жидкости к горизонтальным скважинам в трехмерной области // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2009. № 2. С. 8. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Veliyev/Veliyev_2.pdf (дата обращения: 20.01.2023). EDN: LIBXZF.

6. Борисов Ю.П., Пилатовский В.П., Табаков В.П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами. М.: Недра, 1964. 156 с.

7. Велиев М.Н. Изучение интерференции батареи вертикальных и горизонтальных скважин // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2000. № 1. С. 6-9.

8. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. М.: Гостоптехиздат, 1949. 590 с.

9. Полубаринова-Кочина П.Я. О наклонных и горизонтальных скважинах конечной длины // Прикладная математика и механика. 1956. Т. 20, № 1. С. 95-108.

10. Велиев М.Н., Джалалов Г.И., Жидков Е.Е. Приток жидкости к горизонтальной скважине в деформируемом круговом пласте // Известия АН Азербайджана, сер. «Науки о Земле». 2004. № 2. С. 82-88.

2. Veliev M.N., Mamedkerimov V.I. O vzaimodeistvii dvukh lineinykh plastov cherez slabopronitsaemye peremychki mezhdru nimi [On the Interaction of Two Linear Formations Through Low-Permeability Barriers Between Them]. *Izvestiya AN Azerb. SSR, seriya fiziko-tekhn. i matem. nauk - News of the Academy of Sciences of Azerbaijan. SSR, a Series of Physical and Technical. and Mat. Sciences*, 1972, No. 4. [in Russian].

3. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of Thermal Conductivity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 600 p. [in Russian].

4. Wilkerson J.P., Smith J.H., Stagg T.O., Walters D.A. Horizontal Drilling Techniques at Prudhoe Bay, Alaska. *Journal of Petroleum Technology*, 1988, Vol. 40, Issue 11, pp. 1445-1451. DOI: 10.2118/15372-PA.

5. Veliev M.N. Pritok zhidkosti k gorizonta'nym skvazhinam v trekhmernoi oblasti [The Hydrodynamic Problem of Fluid Influx to Horizontal and to Branched Horizontally Wells in Area]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2009, No. 2, pp. 8. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Veliyev/Veliyev_2.pdf (accessed 20.01.2023). EDN: LIBXZF. [in Russian].

6. Borisov Yu.P., Pilatovskii V.P., Tabakov V.P. *Razrabotka neftyanykh mestorozhdenii gorizonta'nymi i mnogozaбойnymi skvazhinami* [Development of Oil Fields by Horizontal and Multilateral Wells]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 156 p. [in Russian].

7. Veliev M.N. Izuchenie interferentsii batarei vertikal'nykh i gorizonta'nykh skvazhin [Study of the Interference of a Battery of Vertical and Horizontal Wells]. *Azerbaidzhanskoe neftyanoe khozyaistvo - Azerbaijan Oil Industry*, 2000, No. 1, pp. 6-9. [in Russian].

8. Masket M. *Techenie odnorodnykh zhidkoste' v poristoi srede* [The Flow of Homogeneous Liquids in a Porous Medium]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1949. 590 p. [in Russian].

9. Polubarinova-Kochina P.Ya. O naklonnykh i gorizonta'nykh skvazhinakh konechnoi dliny [About Deviated and Horizontal Wells of Finite Length]. *Prikladnaya matematika i mekhanika - Prikladnaya Matematika i Mekhanika*, 1956, Vol. 20, No. 1, pp. 95-108. [in Russian].

10. Veliev M.N., Dzhahalov G.I., Zhidkov E.E. Pritok zhidkosti k gorizonta'noi skvazhine v deformiruемом круговом пласте [Fluid Inflow to a Horizontal Well in a Deformable Circular Formation]. *Izvestiya AN Azerbaidzhana, ser. «Nauki o Zemle» - News of the Academy of Sciences of Azerbaijan, ser. «Earth Sciences»*, 2004, No. 2, pp. 82-88. [in Russian].

Информация об авторах

• Измайлова Гульнара Ришадовна, кандидат физико-математических наук
Институт нефти и газа Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиал в г. Октябрьском)
Доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений»
Россия, 452607, Октябрьский, ул. Девонская, 54А
e-mail: gulena-86@mail.ru

• Мугатабарова Альбина Акрамовна, кандидат технических наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Геофизические методы исследований»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: mugatabarova@mail.ru

Information about the authors

• Izmailova Gulnara R., Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Institute of Oil and Gas, Ufa State Petroleum Technological University (Branch in Oktyabrsky)
Assistant Professor of Oil and Gas Field Exploration and Development Department
54A, Devonskaya str., Oktyabrsky, 452607, Russia
e-mail: gulena-86@mail.ru

• Mugatabarova Albina A., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Geophysical Research Methods Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: mugatabarova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.12.2022; одобрена после рецензирования 18.01.2023; принята к публикации 15.03.2023.

The article was submitted 12.12.2022; approved after reviewing 18.01.2023; accepted for publication 15.03.2023.