

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛОКАЛЬНО-НЕРАВНОВЕСНЫХ МОДЕЛЕЙ

В работе рассматриваются основные линейные математические модели фильтрации жидкостей в пористых средах, приводятся расчеты фазовых и групповых скоростей для используемых уравнений эволюции, результаты численного моделирования значений этих скоростей при различных соотношениях релаксационных параметров, сопоставляются полученные результаты с экспериментальными данными по фильтрации жидкости в однородных высокопористых средах в условиях волн давления.

Ключевые слова: гидродинамика, фильтрационные модели, волны давления, фазовая скорость.

Введение

Гидродинамические исследования скважин являются на сегодняшний день необходимым инструментом для получения информации о фильтрационных параметрах в межскважинном интервале, таких как гидропроводность и пьезопроводность. Информация о значениях этих параметров важна для создания технологии разработки всего месторождения, поэтому определению этих параметров, в частности нестационарными гидродинамическими методами уделяется большое внимание.

Существует несколько модельных подходов, используемых для описания фильтрации жидкостей в пористых средах, но все они имеют свои пределы применимости. Одним из способов идентификации моделей фильтрации может послужить метод фильтрационных волн давления (ФВД), суть которого заключается в создании периодических возмущений давления или дебита в скважине и отслеживании отклика на данное возмущение в соседних скважинах (гидропрослушивание) либо в самой скважине (самопрослушивание) (Бузинов, Умрихин, 1964, Чекалюк, 1948).

С 60-х годов прошлого века под руководством профессора Непримерова Н.Н. было проведено огромное количество исследований методом ФВД различных коллекторов. Казанской школой подземной гидродинамики накоплен огромный промысловый опыт исследований пластов методом фильтрационных волн давления.

При этом вопросы идентификации моделей фильтрации остаются актуальными и, метод ФВД здесь может быть также использован. Действительно, по дисперсионным соотношениям, зависимостям фазовой скорости распространения волн давления от частоты, представляется возможным диагностировать адекватность конкретному случаю тех или иных моделей.

Рассмотрим наиболее распространённые модели в случае плоскорадиальной фильтрации:

Модель 1

Классическая модель упругого режима фильтрации (Щелкачев, 1959):

$$W(r, t) = -\frac{k}{\mu} \nabla p(r, t),$$

где $W(r, t)$ – скорость фильтрации, k – проницаемость пористой среды, μ – вязкость фильтрующейся жидкости, $\nabla(p(r, t))$ – градиент давления.

Уравнение для давления (пьезопроводности):

$$\frac{\partial p(r, t)}{\partial t} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial p(r, t)}{\partial r},$$

где $\chi = k/\mu\beta$ – пьезопроводность среды, $\beta = m\beta_{\text{ж}} + \beta_{\text{с}}$ – сжимаемость пласта, m – пористость среды, $\beta_{\text{ж}}$ – сжимаемость фильтрующейся жидкости, $\beta_{\text{с}}$ – сжимаемость пористого скелета.

Данное уравнение относится к диффузионному типу и для случая точечного стока (источника) решение для изменения давления в неограниченном пласте, начиная с момента $t=0$, при задании произвольного дебита $q(t)$ на длительно простаивавшей одиночной узкой скважине запишется в виде свёртки:

$$p(r, t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \int_0^t q(t-t') \frac{\exp\left(-\frac{r^2}{4\chi t'}\right)}{t'} dt',$$

где $\varepsilon = kh/\mu$ – гидропроводность среды, h – толщина пласта.

В случае создания периодических изменений давления в одной или нескольких скважинах, в пласте будут распространяться волны давления с фазовой и групповой скоростью:

$$V_{\text{фаз}} = \sqrt{2\chi\omega}, \quad V_{\text{гр}} = \sqrt{8\chi\omega},$$

где ω – циклическая частота распространения волны.

Модель 2

Модель фильтрации в однородных пористых средах, учитывающая инерционность движения флюида (Христианович, 1981). Закон фильтрации:

$$W(r, t) + \tau_q \frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{k}{\mu} \nabla p,$$

где τ_q – коэффициент релаксации по дебиту (скорости фильтрации), имеющий размерность времени.

Уравнение для давления:

$$\frac{\partial p(r, t)}{\partial t} + \tau_q \frac{\partial^2 p(r, t)}{\partial t^2} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial p(r, t)}{\partial r}.$$

Выше представленное уравнение относится к телеграф-

ному типу с конечной скоростью распространения возмущений. Решение данного уравнения в виде свёртки:

$$p(r, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^t q(t-t') \frac{\exp\left(-\frac{t'}{2\tau_q}\right)}{\sqrt{t'^2 - \frac{r^2\tau_q}{\chi}}} 2\cosh\left(\frac{\sqrt{t'^2 - \frac{r^2\tau_q}{\chi}}}{2\tau_q}\right) dt'$$

В условиях реализации метода ФВД фазовая и групповая скорости равны:

$$V_{\text{фаз}} = \frac{\sqrt{\chi\omega}}{(1 + \omega^2\tau_q^2)^{1/4} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_q}\right)},$$

$$V_{\text{гр}} = \left[\frac{1}{2\sqrt{\chi\omega}} (1 + \omega^2\tau_q^2)^{1/4} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_q}\right) + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{\chi}} (1 + \omega^2\tau_q^2)^{-3/4} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_q}\right) \omega\tau_q^2 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{\chi}} (1 + \omega^2\tau_q^2)^{-3/4} \sin\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_q}\right) \tau_q \right]^{-1}$$

Модель 3

Модель фильтрации однородной капельно сжимаемой жидкости в трещиновато-пористых, кавернозных коллекторах (Баренблатт, 1984). Закон фильтрации:

$$W(r, t) = -\frac{k}{\mu} \nabla \left(p + \tau_p \frac{\partial p}{\partial t} \right),$$

где τ_p – коэффициент релаксации по давлению, имеющий размерность времени, определяемый вязкостью жидкости, упругоёмкостью блоков пористой среды и характеризующий обмен жидкостью между блоками и трещинами.

Уравнение для давления:

$$\frac{\partial p(r, t)}{\partial t} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} \left(p(r, t) + \tau_p \frac{\partial p(r, t)}{\partial t} \right)$$

Решение данного уравнения в виде свёртки:

$$p(r, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^t \frac{q(t-t')}{t'} \int_0^\infty J_1(z) \left[1 - \exp\left(-\frac{t'\chi z^2}{r^2 + \chi z^2 \tau_p}\right) \right] dz dt'$$

Фазовая и групповая скорость будут рассчитываться исходя из следующих уравнений:

$$V_{\text{фаз}} = \frac{\sqrt{\chi\omega}(1 + \omega^2\tau_p^2)^{1/4}}{\cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_p}\right)}$$

$$V_{\text{гр}} = \left[\frac{1}{2\sqrt{\chi\omega}} (1 + \omega^2\tau_p^2)^{-1/4} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_p}\right) + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{\chi}} (1 + \omega^2\tau_p^2)^{-5/4} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_p}\right) \omega\tau_p^2 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{\chi}} (1 + \omega^2\tau_p^2)^{-5/4} \sin\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{\omega\tau_p}\right) \tau_p \right]^{-1}$$

Модель 4

Двухрелаксационная модель в трещиновато-пористых пластах учитывающая сжимаемость трещин (Молокович и др., 1980). Закон фильтрации:

$$W(r, t) + \tau_q \frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{k}{\mu} \nabla \left(p + \tau_p \frac{\partial p}{\partial t} \right)$$

Уравнение для давления:

$$\frac{\partial p(r, t)}{\partial t} + \tau_q \frac{\partial^2 p(r, t)}{\partial t^2} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} \left(p(r, t) + \tau_p \frac{\partial p(r, t)}{\partial t} \right).$$

Решение данного уравнения в виде свёртки:

$$p(r, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^t \frac{q(t-t')}{t'} \exp\left(-\frac{\tau_q r^2}{4\chi t' \tau_p}\right) \left(1 - r \sqrt{\frac{\tau_p - \tau_q}{\tau_p^2}} \int_0^\infty J_1\left(zr \sqrt{\frac{\tau_p - \tau_q}{\chi \tau_p^2}}\right) \times \exp\left(-\frac{z^2}{\tau_p t'}\right) \left[\frac{t'^2}{1+z^2} + \frac{r^2\tau_q}{4\chi} \right] dz dt' \right)$$

Фазовая и групповая скорость для этой модели будут равны:

$$V_{\text{фаз}} = \frac{\sqrt{\chi\omega}(1 + \omega^2\tau_p^2)^{1/4}}{(1 + \omega^2\tau_q^2)^{1/4} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1 + \omega^2\tau_p\tau_q}{\omega(\tau_p - \tau_q)}\right)}$$

$$V_{\text{гр}} = \left[\frac{1}{2\sqrt{\chi\omega}} \frac{(1 + \omega^2\tau_p^2)^{1/4}}{(1 + \omega^2\tau_q^2)^{1/4}} \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1 + \omega^2\tau_p\tau_q}{\omega(\tau_p - \tau_q)}\right) + \left(\frac{1}{2} \frac{(1 + \omega^2\tau_p^2)^{-3/4} \omega\tau_p^2}{1 + \omega^2\tau_q^2} - \frac{1}{2} (1 + \omega^2\tau_p^2)^{1/4} \omega\tau_q^2 \right. \right. \\ \left. \left. (1 + \omega^2\tau_q^2)^{-5/4} \right) \cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1 + \omega^2\tau_p\tau_q}{\omega(\tau_p - \tau_q)}\right) + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{\chi}} \frac{(1 + \omega^2\tau_p^2)^{1/4}}{(1 + \omega^2\tau_q^2)^{1/4}} \right. \\ \left. \sin\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1 + \omega^2\tau_p\tau_q}{\omega(\tau_p - \tau_q)}\right) \frac{(\tau_p - \tau_q)(1 - \omega^2\tau_p\tau_q)}{\omega^2(\tau_p - \tau_q) + (1 + \omega^2\tau_p\tau_q)^2} \right]^{-1}$$

Модель 5

Модель фильтрации, учитывающая сложность структуры горных пород, релаксацию переупаковки частиц коллектора при изменении давления (Молокович, 1980). В этом случае возможно запаздывание в установлении равновесного состояния напряжения пористой среды σ и давления p . При этом предположении основная гипотеза о постоянстве горного давления p_r запишется в виде:

$$p_r = \sigma + \tau_n \frac{\partial \sigma}{\partial t} + p + \tau_d \frac{\partial p}{\partial t},$$

где τ_n – время релаксации напряжения пористой среды, τ_d – время релаксации по давлению.

Закон фильтрации:

$$W(r, t) = -\frac{k\tau_p}{\mu\tau_q} \left[\nabla p + \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_q} \right) \int_0^t (p - p_0) \frac{e^{-\frac{t-\tau}{\tau_q}}}{\tau_p} \nabla p d\tau \right]$$

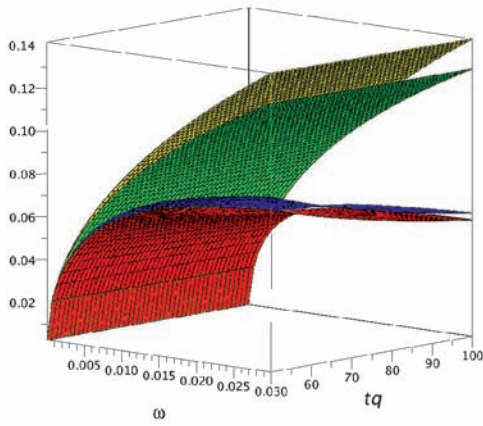
Уравнение для давления:

$$\frac{\partial p(r, t)}{\partial t} + \left(\tau_q + \frac{m\beta_j\tau_n + \beta_c\tau_d}{\beta} \right) \frac{\partial^2 p(r, t)}{\partial t^2} + \left(\tau_q \frac{m\beta_j\tau_n + \beta_c\tau_d}{\beta} \right) \frac{\partial^3 p(r, t)}{\partial t^3} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} \left(p(r, t) + (\tau_p + \tau_n) \frac{\partial p(r, t)}{\partial t} + \tau_p\tau_n \frac{\partial^2 p(r, t)}{\partial t^2} \right)$$

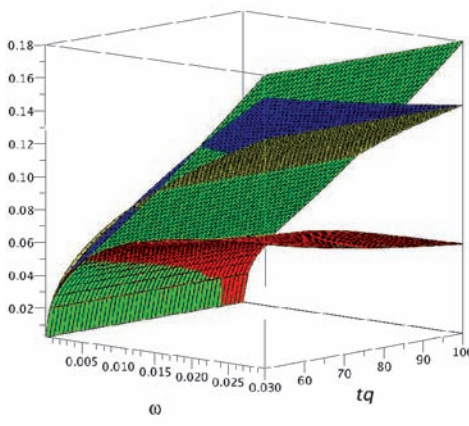
Ниже представлены графики зависимости фазовых и групповых скоростей от частоты для первых четырёх моделей фильтрации при различных временах релаксации (Рис. 1, 2).

Исследуя различия в зависимостях фазовых скоростей от частоты при распространении волн давления, можно провести верификацию фильтрационных моделей. Так на приведённых выше рисунках отчётливо видно, что с ростом частоты задаваемых колебаний давления, а также с увеличением времён релаксации τ_p и τ_q модельные кривые имеют всё более значимые расхождения в фазовых скоростях, что может послужить хорошим диагностическим механизмом при дальнейшем выборе математической модели исследуемого процесса. К примеру, классическая модель упругого режима фильтрации (модель 1) и модель фильтрации однородной капельно сжимаемой жидкости в трещиновато-пористых, кавернозных коллекторах (модель 3) с ростом частоты приводит нас к бесконечной скорости распространения возмущений в пласте, что противоречит экспериментальным данным (из про-

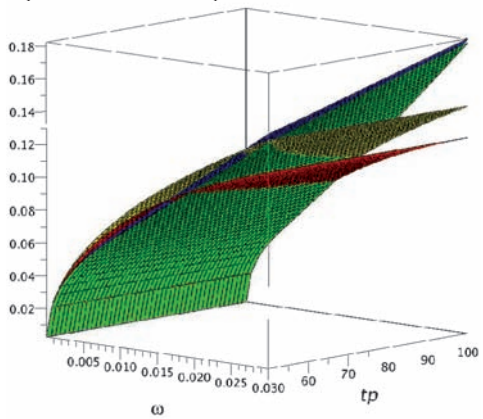
$\tau_p = 10 \text{сек}, 50 \text{сек} < \tau_q < 100 \text{сек}$



$\tau_p = 100 \text{сек}, 50 \text{сек} < \tau_q < 100 \text{сек}$



$\tau_q = 10 \text{сек}, 50 \text{сек} < \tau_p < 100 \text{сек}$



$\tau_q = 100 \text{сек}, 50 \text{сек} < \tau_p < 100 \text{сек}$

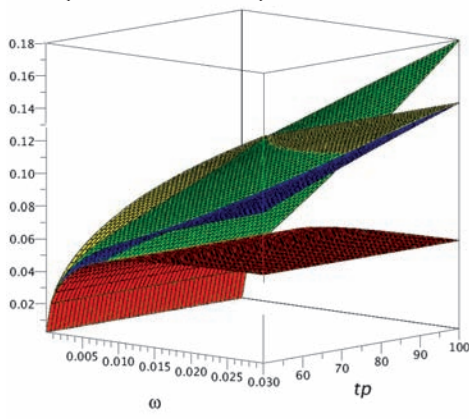


Рис. 1. Зависимость фазовой скорости от частоты для различных моделей фильтрации. Поверхности желтого цвета – модель 1, поверхности красного цвета – модель 2, поверхности зеленого цвета – модель 3, поверхности синего цвета – модель 4.

мысловых исследований известно, что скорость распространения периодических возмущений в продуктивных коллекторах конечна и её значение, к примеру, для девона Ромашкинского месторождения равно 1-10 см/сек). Итак, различия в дисперсионных соотношениях фильтрационных гармонических волн давления лежат в основе инструмента по исследованию границ применимости фильтрационных моделей.

Заметим, что при гидродинамических исследованиях пористых сред методом ФВД следует выделять частотные интервалы гидродинамических воздействий, в пределах которых можно говорить, собственно, о фильтрации жидкости (Овчинников, 2003). Действительно, при частотах изменения давления превышающих V_{char}/d , где V_{char} – характерная скорость распространения упругих колебаний, d – размер пор и межпоровых каналов, мы сталкиваемся с нарушением условий континуального перехода к описанию фильтрации в рамках сплошной среды и имеем дело с задачей распространения ультразвуковых волн в пористой среде. Поэтому мы будем проводить исследования пористых сред методом фильтрационных волн давления с периодами единиц секунд, минут, то есть задавать колебания давлений на частотах порядка 10^{-2} - 10^0 Гц, имея в виду, прежде всего фильтрационно-гидродинамические, а не упруго-акустические эффекты.

Экспериментальные исследования фильтрации в однородных пористых средах по методу ФВД проводились на сконструированной в лаборатории физической динамики гетерогенных сред Казанского федерального университета оригинальной установке, схематический вид которой приведён на рис. 3, устройство и принцип работы описан в (Трусов, 2010).

На разработанной установке было проведено более 40 экспериментов по реализации метода фильтрационных волн давления в лабораторных условиях, были рассчитаны фазовые скорости для различных частот воздействия волн давления, проведено исследование применимости диффузионного (модель 1) и телеграфного (модель 2) типов уравнений для описания нестационарной фильтрации.

Ниже представлены графики зависимости фазовой скорости распространения волн давления от квадратного корня из частоты для исследуемых пористых сред (Рис. 4, 5): кривые красного цвета – экспериментальные данные, кривые

Параметр	Образец №1	Образец №2
β_c	$15,5 \cdot 10^{-8} \text{Па}^{-1}$	$4,5 \cdot 10^{-8} \text{Па}^{-1}$
m	0,35	0,35
k	170 мкм ²	27 мкм ²
χ	1,1 м ² /с	0,6 м ² /с

Таблица.

зелёного цвета – расчётные кривые по модели 1, кривые синего цвета – расчётные кривые по модели 2. Для модели 2 подбиралось время релаксации для первого образца $\tau_q = 0,8$ сек для второго $\tau_q = 3$ сек, также показано, что при больших временах релаксации экспериментальные данные и модельный тренд имеют значительное расхождение. Параметры исследуемых пористых сред представлены в таблице.

Проведённые исследования пределов применимости диффузионного и телеграфного типов уравнений для описания нестационарных гидродинамических процессов в насыщенных пористых средах показали, что при данных значениях пористости, сжимаемости и проницаемости пористых сред, а также вязкости вытесняющей фазы, уравнение диффузионного типа (модель 1) и телеграфного типа (модель 2) при времени релаксации для первого образца $\tau_q = 0,8$ сек для второго $\tau_q = 3$ сек с высокой точностью описывает фильтрационный процесс, но уже при значении времени релаксации вдвое больших приводит к значительному несовпадению расчётных и экспериментальных данных. Другими словами можно сказать, что релаксационными эффектами при исследовании нестационарной фильтрации жидкостей с малой вязкостью в однородных высокопроницаемых пористых средах можно пренебречь. Следует отметить, что в низкопроницаемых пористых материалах времена релаксации имеют порядок $\leq 10^3$

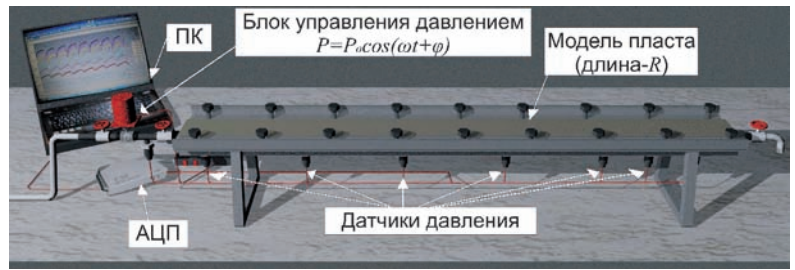


Рис. 3. Схематический вид установки.

сек (Динариев, Николаев, 1990).

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что метод фильтрационных волн давления может являться диагностическим инструментом в области верификации фильтрационных моделей. В приведённом исследовании показано, что применимость локально-равновесной модели фильтрации при описании нестационарного гидродинамического процесса в высокопористой среде себя оправдывает, то есть, модель классического упругого режима фильтрации адекватно описывает данный процесс фильтрации.

Отметим, что в последнее время был получен ряд новых результатов в исследованиях волн давления. Так:

1. Предложен способ определения нелокальности фильтрационных моделей, основанный на анализе дисперсионных соотношений фильтрационных гармонических волн давления (Овчинников, 2002),

2. Рассмотрены волны давления, их дисперсионные соотношения, в насыщенных пористых пластах, описываемые уравнениями в дробных производных (Овчинников и др. 2004),

3. Предложены расчетные соотношения для оптимизации перетоков в системе блоки-трещины при периодическом изменении давления в условиях неоднородных пластов (Ovchinnikov & Zavidonov, 2008),

4. Систематизированы проблемы проведения экспериментов по организации волн давления и их автоматизации (Одиванов и др., 2009; Одиванов и др., 2010),

5. Рассчитаны фазовые скорости волн давления для различных моделей, исследованы вопросы деформации горных пород и возможности регистрации смещений и деформаций в приповерхностных слоях в виде периодических сигналов, вызванных нестационарными изменениями давления в тонких пористых и трещиновато-пористых пластах (Ovchinnikov et al., 2001),

6. Рассмотрены особенности распространения волн давления в нелинейных по проницаемости насыщенных пористых средах (Куштанова, Овчинников, 2010).

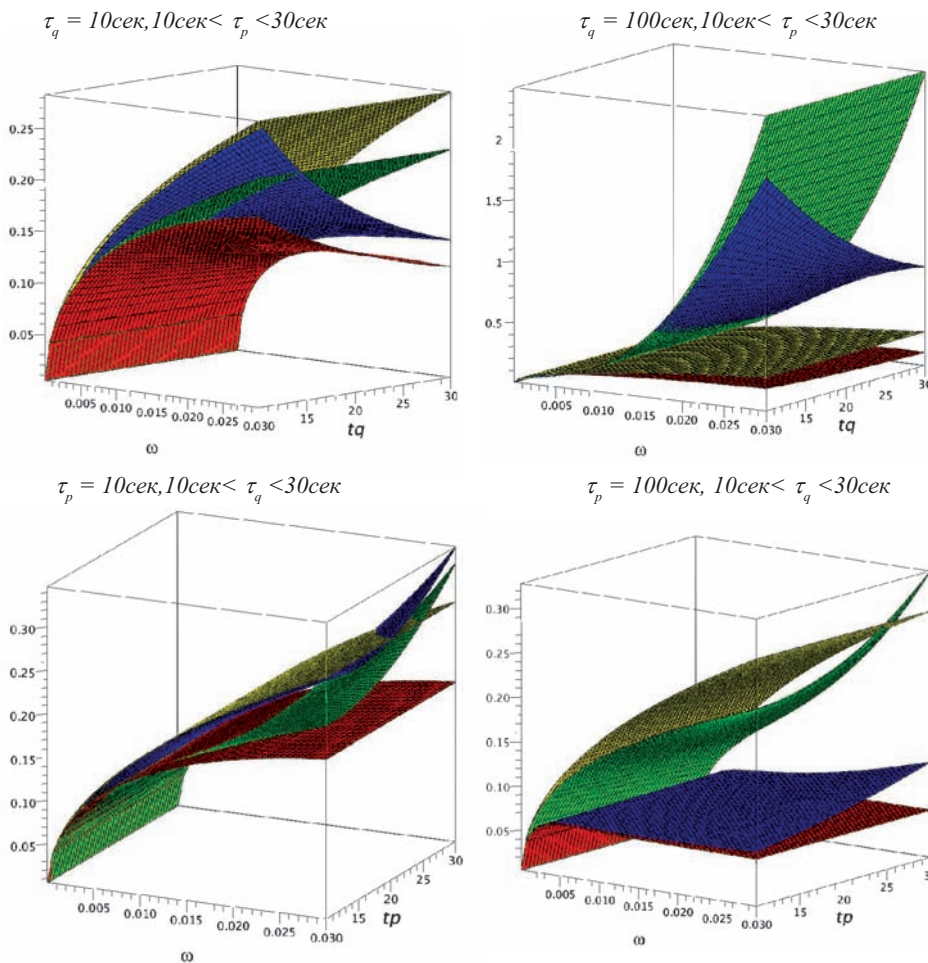


Рис. 2. Зависимость групповой скорости от частоты для различных моделей фильтрации. Поверхности жёлтого цвета – модель 1, поверхности красного цвета – модель 2, поверхности зеленого цвета – модель 3, поверхности синего цвета – модель 4.

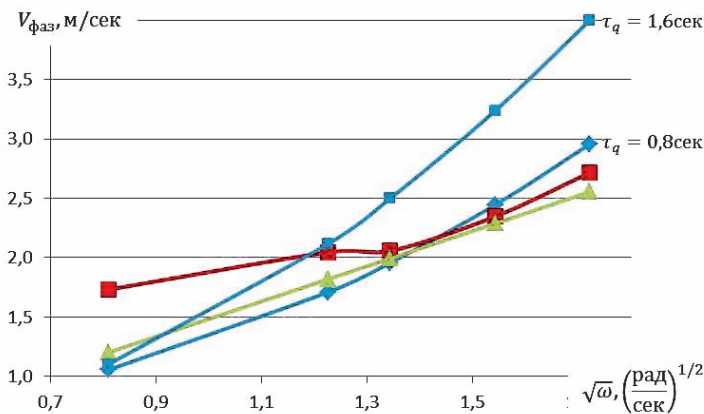


Рис. 4. Зависимость фазовой скорости от корня от частоты для образца №1. Красная кривая – экспериментальные данные, кривые зелёного и синего цвета – расчётные кривые по модели 1 и 2 соответственно.

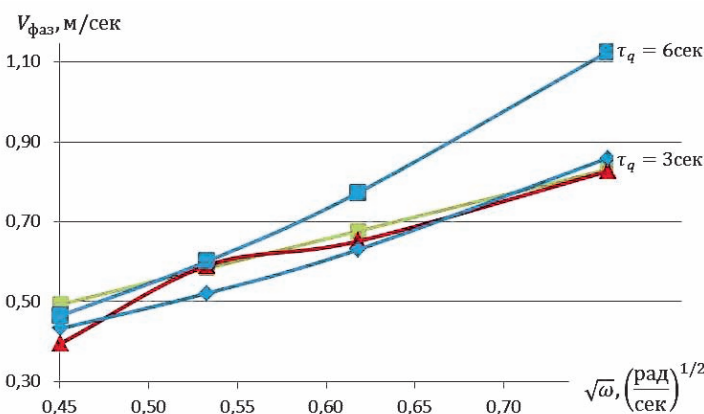


Рис. 5. Зависимость фазовой скорости от корня от частоты для образца №2. Красная кривая – экспериментальные данные, кривые зелёного и синего цвета – расчётные кривые по модели 1 и 2 соответственно.

Заключение

Фильтрационные волны давления могут использоваться не только как способ определения фильтрационно-емкостных характеристик продуктивных коллекторов, неоднородностей в призабойной и межскважинной зонах, но и как инструмент для верификации фильтрационных моделей, определения их границ применимости при описании того или иного нефтеводонасыщенного пласта.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2012 (гос. контракт №П11005, №П1511).

Литература

Баренблатт Г.И., Ентов В.Н., Рыжик В.М.. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М: Недра. 1984. 211.
 Бузинов С.Н., Умрихин И.Д.. Исследование пластов и скважин при упругом режиме фильтрации. М.: Недра, 1964. 273.
 Динариев О.Ю., Николаев О.В. О релаксационных процессах в низкопроницаемых пористых материалах. ИФЗ. 1990. Т.58, №1. 78-82.
 Куштанова Г.Г., Овчинников М.Н. Спектральные особенности фильтрационных волн давления в нелинейных средах. Известия вузов. Поволжский регион. Физ.-мат.науки. 2010, №1. 130-135.
 Молокович Ю.М., Непримеров Н.Н., Пикуза В.И., Штанин А.В.. Релаксационная фильтрация. Казань, Изд-во Казанского университета. 1980. 136.
 Непримеров Н.Н. Трехмерный анализ нефтеотдачи охлажденных пластов. Изд-во КГУ, Казань. 1978. 216.
 Овчинников М.Н. Интерпретация результатов исследований

пластов методом фильтрационных волн давления. Казань: Новое знание. 2003. 84.

Овчинников М.Н. Об одном методе идентификации моделей фильтрации. Известия вузов. Нефть и газ. 2002. № 4. 22 - 25.

Овчинников М.Н., Гаврилов М.Н., Непримеров Н.Н., Штанин А.В. Разработка нефтяного месторождения как комплексная междисциплинарная технология. Научомеккие технологии. 2004. №4. т.5. 75 - 80.

Одиванов В.Л., Гаврилов А.Г., Овчинников М.Н.. Автоматизация исследований флюидонасыщенных пластов методом волн давления. Учён. Зап. Казан.ун-та. Сер. Физ. матем. науки. 2010. Т. 152, кн.1. 73-79.

Одиванов В.Л., Овчинников М.Н., Гаврилов А.Г. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. Специфика и средства обработки данных исследований нефтяных пластов методом фильтрационных волн давления. 2009. №1. 16-23.

Одиванов В.Л., Овчинников М.Н., Гаврилов А.Г. Специфика задач автоматизации гидродинамических исследований на нефтяных месторождениях. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2009. №1. 9-23.

Трусов А.В. Экспериментальное гидродинамическое исследование пористых сред методом фильтрационных волн давления. Нефть. Газ. Новации. №2. 2010. 67-69.

Христианович С.А. Механика сплошной среды. М., Наука. 1981. 493.

Чекалюк Э.Б. К анализу методов исследования скважин. Нефтяное хозяйство. 1948. №11. 27-30.

Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. М.: Гостоптехиздат. 1959. 467.

Ovchinnikov M.N., Zavidonov A.Yu. Searching for an optimum frequency. Georesources. 2008. N1. 21-22.

Ovchinnikov M.N., Zavidonov A.Yu Evtushenko, S.P.. Deformations of Rocks in Periodic Regimes of Filtration. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2001. v.44. number 5. 1067-1072.

A.V. Trusov, M.N. Ovchinnikov, E.A. Marfin. Filtration waves of pressure distribution peculiarities and characteristics during local unbalanced models usage.

The paper is considered with the main linear mathematical models of liquids filtration in porous medium, calculations of phase and group velocities for applied equations of evolution, results of numerical modeling of these velocities values at various ratios of relaxation parameters are given, acquired results with experimental data for liquid filtration in homogeneous highly porous medium in the waves of pressure conditions are correlated.

Key words: hydrodynamics, filtration model, wave pressure, phase velocity.

Александр Валерьевич Трусов

Аспирант Института физики Казанского федерального университета. Научные интересы: гидродинамика, разработка нефтяных месторождений.

Марат Николаевич Овчинников

Д.ф.-м.н., профессор Казанского федерального университета. Научные интересы: динамика сложных систем, молекулярно-динамическое моделирование, нестационарная фильтрация.

Евгений Александрович Марфин

К.т.н., в.н.с. исследовательского центра проблем энергетики КазНЦ РАН. Научные интересы: интенсификация процессов добычи нефти, акустика природных сред.

420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, д.16А.

Тел.: (843) 233-70-02, (927) 419-35-45.