

0- 788626

На правах рукописи



Гарипова Лилия Ильясовна

**УЧЕТ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ
ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и
газовых месторождений**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Бугульма 2011

Работа выполнена в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ОАО «Татнефть» им.В.Д.Шашина и Альметьевском государственном нефтяном институте (АГНИ)

Научный руководитель: доктор технических наук
Иктисанов Валерий Асхатович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Корженевский Арнольд Геннадьевич

кандидат технических наук
Закиров Марат Финатович

Ведущая организация: Общество с ограниченной ответственностью
«РН – УфаниПИнефть»

Защита состоится «7» июля 2011 года в 16 часов на заседании диссертационного совета Д.222.018.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти по адресу: 423236, Республика Татарстан, г. Бугульма, ул. М. Джагиля, 32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института ТатНИПИнефть.

Автореферат разослан « 4 » июня 2011 г.



Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук

И.В. Львова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и постановка задачи. Для осуществления научно-обоснованного процесса разработки нефтяных месторождений необходима достоверная информация о фильтрационных и энергетических параметрах продуктивных пластов. Отсутствие информации о состоянии и условиях выработки извлекаемых запасов приводит к их безвозвратной потере.

Определение фильтрационных параметров коллектора лучше всего выполнять по результатам гидродинамических исследований скважин и пластов (ГДИ), которые отражают непосредственный процесс фильтрации в пластовых условиях. Гидродинамические методы контроля за разработкой нефтяных месторождений позволяют решать целый комплекс задач. В первую очередь к ним относятся: получение данных по фильтрационным параметрам пласта, призабойной зоны и пластовым давлениям, уточнение геологической модели объекта, оценка эффективности применения методов увеличения нефтеотдачи, оценка методов интенсификации притока жидкости к скважинам, оценка качества вскрытия пластов, информационное обеспечение гидродинамических моделей разработки месторождений, определение оптимальных и предельно-допустимых забойных и пластовых давлений.

Широко используемые для интерпретации кривых восстановления (КВД) и падения давления (КПД) уравнения пьезопроводности для поровых и трещинно-поровых коллекторов, основаны на линейном законе фильтрации Дарси. Большое количество исследований различных авторов свидетельствуют о нарушении этого закона фильтрации. Основные причины этого заключаются в проявлении следующих факторов: зависимость проницаемости от давления, существование начального градиента давления, наличие конечной скорости распространения возмущений или запаздывания деформации; релаксация давления, наличие инерционной составляющей, связанной с ускорением потока.

Необходимость учета этих факторов при интерпретации кривых изменения давления и при гидродинамическом моделировании признана

В связи с этим, **целью диссертационной работы** является:

Повышение достоверности интерпретации результатов гидродинамических исследований за счет учета неравновесных процессов фильтрации жидкости.

В соответствии с целью работы в ходе исследований предстояло решить следующие **основные задачи**:

1. Разработка методов решения прямой гидродинамической задачи при условии конечного радиуса скважины для релаксационных моделей фильтрации Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М.

2. Разработка методик интерпретации кривых изменения давления при помощи данных моделей с учетом послепритока жидкости в скважину и скин-эффекта.

3. Изучение влияния конечной скорости распространения возмущений и времен релаксации по модели Молоковича Ю.М. на результаты интерпретации кривых изменения давления.

4. Определение области применения предлагаемых методик при интерпретации кривых изменения давления.

5. Изучение возможности использования релаксационных моделей при гидропрослушивании.

Методика исследований

Поставленные задачи решались на основе анализа теоретических работ, результатов гидродинамических исследований скважин и пластов. Использовались методы решения дифференциальных уравнений на основе преобразования Лапласа и численный алгоритм Стефеста.

Научная новизна

Разработаны и апробированы алгоритмы интерпретации кривых изменения давления с учетом скин-эффекта, послепритока и конечного радиуса скважины для релаксационных моделей Молоковича Ю.М. и Христиановича С.А.

Показано, что основная область применения релаксационных моделей связана с интерпретацией КВД и КПД при малой длительности влияния послепритока, что в основном соответствует исследованию нагнетательных скважин и исследованиям добывающих скважин в подпакерном пространстве.

Показано, что описание начальных участков КВД при помощи релаксационных моделей Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М. с учетом послепритока приводит к повышению точности определения скин-эффекта.

Обнаружено, что отсутствие учета релаксационной фильтрации приводит к ошибочно завышенным значениям скин-эффекта при условии $T_v/T_p > 1$ и ошибочно заниженным значениям скин-эффекта при условии $T_p/T_v > 1$.

Влияние релаксационных процессов на изменение давления ослабевает на удалении от скважины.

Практическая ценность и реализация работы

Предлагаемый подход позволил повысить точность определения фильтрационных параметров призабойной зоны за счет использования моделей фильтрации, учитывающих деформацию пласта и особенности физико-химического взаимодействия жидкости и коллектора.

Разработанные методики интерпретации КВД и КПД по моделям Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М. внедрены в КИС АРМИТС и используются для интерпретации подразделениями ОАО «Татнефть».

Модели фильтрации Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М. и их применение в нефтепромысловой практике используются в учебном процессе при проведении занятий по дисциплине «Гидродинамические исследования скважин» в АГНИ.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методики интерпретации КВД и КПД по моделям Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М. с учетом скин-эффекта и коэффициента послепритока и область их применения.

2. Результаты интерпретации КВД, КПД и практические рекомендации по использованию данных методик.

Апробация работы

Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: восьмой международной научно-технической конференции «Современные технологии гидродинамических исследований скважин на всех стадиях разработки месторождений» (г. Томск, 2009); международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов» (г. Казань, 2009), девятой международной научно-технической конференции «Современные технологии гидродинамических исследований скважин на всех стадиях разработки месторождений» (г. Томск, 2010), научной сессии АГНИ (г. Альметьевск, 2010).

Публикации

Основные положения диссертационной работы изложены в 6 печатных работах, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав заключения, основных результатов и выводов. Общий объем работы составляет 112 страниц, в том числе 10 таблиц, 39 рисунков, 2 приложения. Список литературы включает 77 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.т.н. Иктисанову В.А. за научное руководство и неоценимую помощь в работе над диссертацией. Также автор благодарит сотрудников лаборатории гидродинамических исследований ТатНИПИнефть Мусабирову Н.Х. и Байгушева А.В. за возможность использования промысловых данных и за помощь в подготовке диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы использования неравновесных моделей фильтрации при интерпретации кривых изменения давления, сформулированы цели и задачи исследования, определены методы исследований.

В первой главе изложен обзор существующих моделей фильтрации, их применение при интерпретации гидродинамических исследований.

Широко используемое для интерпретации кривых восстановления (КВД) и падения давления (КПД) уравнение пьезопроводности, основанное на модели Щелкачева В.Н., предполагает бесконечную скорость распространения возмущений. Аналогичная тенденция характерна и для модели Баренблатта Г.И. – Желтова Ю.П., предназначенной для описания трещинно-порового коллектора.

Известны модели Добрынина В.М., Горбунова А.Т., Скворцова Э.В., Дияшева Р.Н., Костерина А.В., Овчинникова М.Н., Иктисанова В.А., Щипанова А.А., и других авторов, которые описывают движение жидкости в деформируемых коллекторах. При движении коллоидно-дисперсных систем в поровом коллекторе применяется модель Мирзаджанзаде А.Х. с начальным градиентом давления.

Для всех рассматриваемых моделей изменение режима работы скважины приводит к мгновенному изменению давления в любой точке пласта. Данное представление является идеализированным, т. к. любая скорость является конечной.

Практически не используется модель Христиановича С.А., в которой учитывается конечная скорость распространения возмущений за счет сжатия и расширения жидкости в каналах с переменным сечением. В основу модели положено движение жидкости в капиллярных трубках с периодическими сужениями и расширениями. За счет этого модель фильтрации имеет вид:

$$V + T_V \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{k}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r}, \quad (1)$$

где T_V – время запаздывания изменения скорости, V – скорость фильтрации, t – время, k – проницаемость, P – давление, r – радиус, μ – вязкость фильтрующей жидкости.

При приложении к образцу постоянного расхода аналогичным образом наблюдается запаздывание установления давления. Для одновременного описания

этих процессов Молокович Ю. М. предложил модель с двумя временами релаксации – по скорости T_v и по давлению T_p :

$$V + T_v \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{k}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r} + T_p \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{k}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \right). \quad (2)$$

Принципиальным преимуществом релаксационных моделей Молоковича Ю.М. и Христиановича С.А. является учет неравновесных процессов фильтрации, происходящих в начальный период изменения давления.

По нашему мнению, основные причины релаксационной фильтрации связаны с:

- проявлением вязко-упругих эффектов при наличии сужений и расширений поровых каналов;
- проявлением различных физико-химических эффектов на границе раздела коллектора и жидкости.

К сожалению, модели Молоковича Ю.М. и Христиановича С.А. не получили широкого распространения в нефтепромысловой практике, что обусловлено отсутствием учета послепритока жидкости в скважину и скин-эффекта, которые имеют значительное влияние на вид КВД.

Во второй главе рассмотрены вопросы интерпретации кривых изменения давления по модели Христиановича С.А. Приводится алгоритм расчета прямой гидродинамической задачи с учетом скин-эффекта и коэффициента послепритока, предложена методика интерпретации КВД и КПД, определена область применения методики.

Для модели Христиановича С.А., Молокович Ю.М. и соавторы предложили в классической постановке начальных и граничных условий решение уравнения (1) в пространстве Лапласа-Карсона:

$$P'_D(r, s) = (1 + T_v s) \frac{K_0(z)}{z_\kappa K_1(z_\kappa)}, \quad (3)$$

где $z_w = \sqrt{\frac{r_w^2 (1 + T_w s)}{\chi}}$, P_D^* – безразмерное давление, s – параметр преобразования

Лапласа-Карсона, $K_0(z_w)$ и $K_1(z_w)$ – функции Бесселя, χ – коэффициент пьезопроводности, r_w – радиус скважины.

Для малых аргументов функций Бесселя $K_0(z_w)$ и $K_1(z_w)$, что соответствует нулевому радиусу скважины, из уравнения (3) Молоковичем Ю.М. выведено аналитическое решение.

В начальный момент времени забойное давление, как и дебит скважины, изменяется скачком. Подчеркнем, что реальные КВД не содержат скачков давления. Это лишний раз подтверждает необходимость учета влияния послепритока жидкости в скважину. Кроме того, более общее решение должно учитывать и конечный радиус скважины.

Поставленная задача решена следующим образом. Для этого уравнение (3) представлено из пространства Лапласа-Карсона в пространство Лапласа:

$$P_D^*(r_D, u) = \frac{f(u)}{u} \frac{K_0(\sqrt{uf(u)})}{\sqrt{uf(u)} K_1(\sqrt{uf(u)})} \quad (4)$$

где $f(u) = 1 + T_{vD} u$, r_D – безразмерный радиус $r_D = r/r_w$, u – параметр преобразования Лапласа, T_{vD} – безразмерное время запаздывания по скорости.

Для перехода в реальное пространство рекомендуется использовать численный алгоритм Стефеста. Данный подход позволяет учесть влияние коэффициента послепритока и скин-эффекта, которые значительно искажают реальный вид кривых изменения давления.

Для учета влияния коэффициента послепритока и скин-эффекта следует использовать известное уравнение:

$$P_{wD} = \frac{1}{u} \left[\frac{S + u P_D}{1 + u C_D (S + u P_D)} \right], \quad (5)$$

где P_{wD} – безразмерное давление с учетом коэффициента послепритока и скин-эффекта.

Применение предлагаемого алгоритма позволило учесть весь спектр значений параметра $fo = \frac{\kappa l}{r^2}$ – от малых, когда справедливо коренное уравнение, до больших значений fo , при которых используется известная логарифмическая функция (рисунок 1). Предлагаемый алгоритм, позволяет рассчитать давление с учетом конечной скорости распространения возмущений.

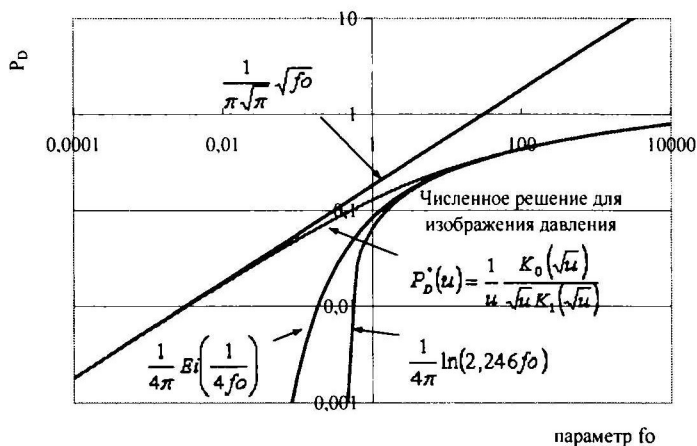


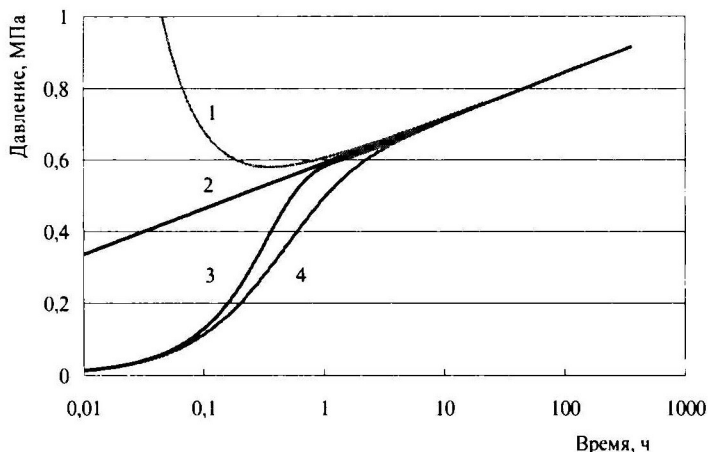
Рисунок 1 - Сравнение различных способов описания безразмерного давления при $S=0$ и $C_D=0$

Для проведения расчетов была создана компьютерная программа. Тестирование программы осуществлялось при $f(u)=1$ в сопоставлении с расчетами по программе «Saphir» для модели бесконечного порового пласта.

В результате расчетов отмечается следующее. При отсутствии учета притока ($C_D=0$) наблюдается значительный скачок давления для начальных точек КВД (кривая 1 рис. 2).

Влияние послепритока жидкости нивелирует скачок для начальных точек КВД, и отличие давления по моделям Щелкачева В.Н. (кривая 4 рис. 2) и

Христиановича С.А. (кривая 3 рис.2) проявляется только на среднем участке кривых.



- 1) логарифмическая функция для модели Христиановича С.А. $T_v = 1000$ с.
- 2) логарифмическая функция для модели Щелкачева В.Н..
- 3) предлагаемый алгоритм для модели Христиановича С.А. с учетом послепритока $T_v = 1000$ с.
- 4) алгоритм для модели Щелкачева В.Н. с учетом послепритока

Рисунок 2 – Различные способы построения КВД

Кривая, рассчитанная по модели Христиановича С.А. с учетом притока, всегда выше кривой по модели Щелкачева В.Н. с учетом притока. Это приводит к тому, что максимум производной по модели Христиановича С.А. получается выше. Вследствие этого, отсутствие учета конечной скорости распространения возмущений должно приводить к ошибочно завышенным значениям скин-эффекта.

При этом гидропроводность, рассчитанная по моделям Христиановича С.А. и Щелкачева В.Н. должна быть одинаковая, учитывая, что при больших значениях времени уравнение Христиановича С.А. асимптотически переходит в уравнение Щелкачева В.Н.

Проведенные расчеты свидетельствуют, что значительное влияние на давление и производную оказывает величина коэффициента притока (рис.3).

Увеличение коэффициента притока приводит к меньшему отклонению кривых по моделям Христиановича С.А. и Щелкачева В.Н. Поэтому наибольший эффект от применения предлагаемого алгоритма будет достигаться при малых коэффициентах притока, что соответствует исследованиям нагнетательных скважин и записи давления под пакером для добывающих скважин.

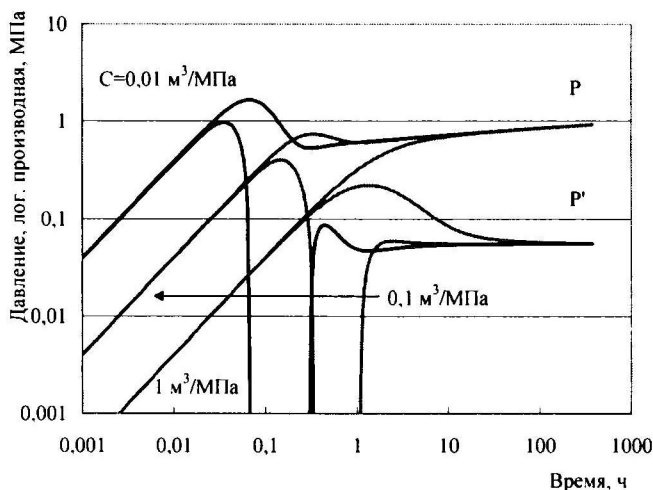


Рисунок 3 – Влияние коэффициента притока на изменение давления и производную для модели Христиановича С.А.

Для решения обратной задачи, т. е. определения фильтрационных свойств пласта по известным гидродинамическим параметрам, использовался метод наименьших квадратов, справедливый для нормального закона распределения статистической погрешности.

Решение обратной гидродинамической задачи осуществлялось путем минимизации функционала между экспериментальными и вычисленными значениями забойного давления с использованием алгоритма Brent R.P.

В третьей главе рассматривается существующий подход решения неравновесного уравнения фильтрации, предлагается способ решения для

модели фильтрации Молоковича Ю.М., представлены результаты моделирования релаксационной фильтрации и интерпретации КВД.

Используя уравнение неразрывности, уравнения состояния для пористой среды и жидкости, и модель фильтрации (2), Молокович Ю.М. вывел уравнение:

$$\frac{\chi}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(P + T_r \frac{\partial P}{\partial t} \right) \right] = \frac{\partial P}{\partial t} + T_r \frac{\partial^2 P}{\partial t^2}. \quad (6)$$

Для решения этого уравнения в частных производных в случае плоскорадиальной фильтрации в бесконечном пласте и принятии скважины конечного радиуса Молоковичем Ю.М. получено уравнение в пространстве Лапласа-Карсона. На основе этого уравнения выведено аналитическое решение для скважины нулевого радиуса.

К сожалению, основы релаксационной фильтрации, изложенные Молоковичем Ю.М., не получили распространения в нефтепромысловой практике. Отчасти это связано с необходимостью численного решения интеграла Дюамеля, в виде которого представлено решение для скважины нулевого радиуса. Другой причиной является то, что, несмотря на учет времен релаксации, автор пренебрег влиянием послепритока жидкости в скважину и скин-эффектом, которые имеют значительное влияние на вид кривых изменения давления.

Поставленную Молоковичем Ю.М. задачу можно решить гораздо более простым способом для скважины конечного радиуса с учетом послепритока и скин-эффекта. Для этого, как и для модели Христиановича С.А., необходимо представить уравнение из преобразования Лапласа-Карсона в преобразование Лапласа и использовать численный алгоритм Стефеста для перехода в реальное пространство.

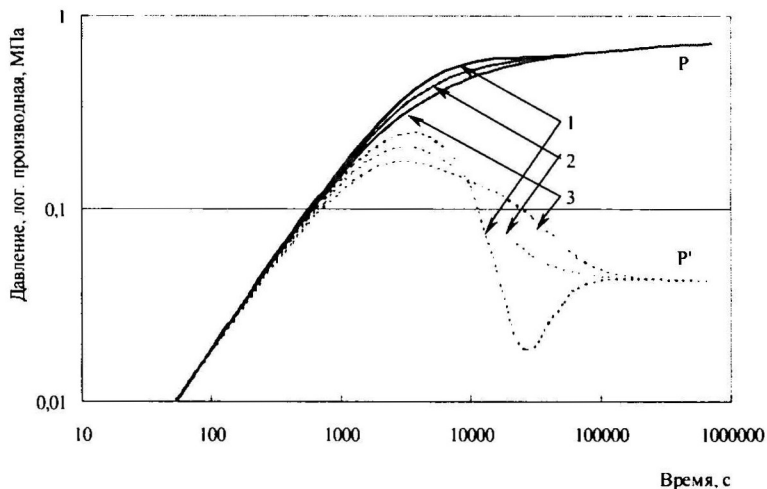
В пространстве Лапласа уравнение для модели Молоковича Ю.М. (6) запишется в виде:

$$P_D^*(r_D, u) = \frac{f(u)}{u} \frac{K_a \sqrt{uf(u)}}{\sqrt{uf(u)} K_1(\sqrt{uf(u)})} \quad (7)$$

где $f(u) = \frac{1+T_{vD}u}{1+T_{pD}u}$, u – параметр преобразования Лапласа, r_D – безразмерный радиус $r_D = r/r_w$, T_{vD} – безразмерное время запаздывания по скорости, T_{pD} – безразмерное время запаздывания по давлению.

Учет послепритока и скин-эффекта достигается при помощи уравнения (5).

Результаты моделирования при использовании различных времен релаксации по модели Молоковича Ю.М. представлены на рисунке 4. Отмечается, что при условии $T_v > T_p$, т. е. при преобладающем запаздывании скорости, наблюдается минимум производной. В ряде случаев может даже возникнуть так называемый «горб» на кривой давления. В предельном случае, когда $T_p = 0$, модель Молоковича Ю.М. переходит в модель Христиановича С.А., для которой характерна конечная скорость распространения возмущений в пласте.



1 - $T_v > T_p$, 2 - $T_v = T_p$, 3 - $T_v < T_p$

Рисунок 4 – КВД и их производные, рассчитанные по модели Молоковича Ю.М.

При условии $T_v = T_p$ КВД ведет себя согласно закону фильтрации Щелкачева В.Н., т.е. традиционным образом.

При преобладающем запаздывании давления $T_v < T_p$ наблюдается растянутый максимум производной.

Как показала практика интерпретации различных КВД, наилучшее совмещение начальных участков кривой достигается при помощи различных моделей: Христиановича С.А., Молоковича Ю.М. Критерием выбора модели является сопоставление сумм квадратов отклонений между экспериментальными и расчетными значениями давлений.

Например, для скважины № 3156 использование модели Молоковича Ю.М. приводит к снижению суммы квадратов на порядок (рис. 5, табл. 1). При этом отчетливо наблюдается запаздывание давления.

Модель Христиановича С.А. является частным случаем модели Молоковича Ю.М. Поэтому в общем случае, возможно проводить интерпретацию КВД, КПД по модели Молоковича Ю.М. Однако счет по модели Христиановича С.А. является более быстрым. Поэтому возможно применение непосредственно двух моделей и выбор наиболее приемлемой по значению суммы квадратов отклонений.

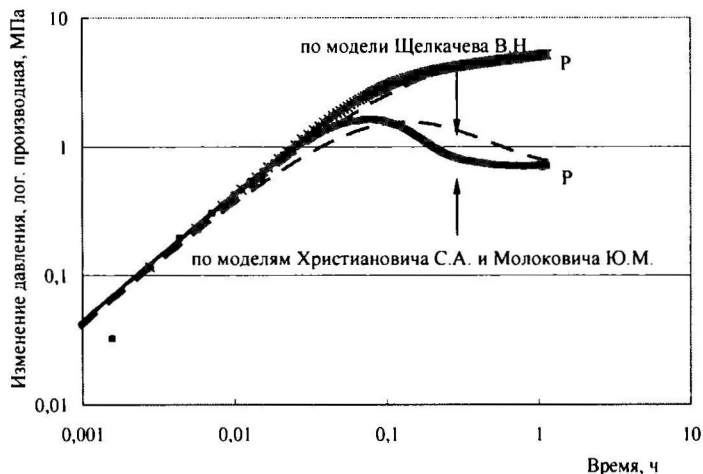


Рисунок 5 - Графические результаты интерпретации КВД скважины № 3156 различными моделями

Применение релаксационных моделей позволяет повысить точность определения скин-эффекта за счет более точного описания кривой.

Таблица 1 – Результаты интерпретации КВД скважины № 3156 бобриковского горизонта Бахчисарайского месторождения

Модель	вид функции $f(u)$	C , м ³ /МПа	ε , мкм ² /м/ (Па·с)	S	Тр, ч	Тв, ч	σ^2 , МПа ²
Щелкачева В.Н.	1	0,0101	16,1	0,04	0	0	10,7127
Молоковича Ю.М.	$\frac{1+T_{vd}u}{1+T_{pd}u}$	0,0096	16,1	-0,26	37,77	207,13	0,0031
Христиановича С.А.	$1+T_{vd}u$	0,0101	16,1	-0,24	0	184,292	0,0073

В четвертой главе изложены результаты исследования при гидропрослушивании с использованием релаксационных моделей.

Расчет давления производился по модели Христиановича С.А. согласно уравнения (4), по модели Молоковича Ю.М. по уравнению (7).

Для модели Щелкачева В.Н. отмечается запаздывание изменения давления. При этом происходит уменьшение и полное исчезновение максимума давления на больших расстояниях от скважины. Другими словами, влияние послепитока жидкости практически исчезает при удалении от скважины.

Для модели Христиановича С.А., т. е. при учете конечной скорости распространения возмущений, наблюдаются иные тенденции. На всех кривых давления локальный максимум, вызванный запаздыванием изменения скорости, существует, но уменьшается с удалением от скважины. При этом в логарифмических координатах наблюдается даже возрастание этого максимума с удалением расстояния от скважины (рисунок 7).

Производная давления содержит максимальные отклонения на расстоянии равном радиусу скважины. По мере удаления от скважины экстремумы уменьшаются. Это свидетельствует о том, что влияние релаксационных процессов на удалении от скважины ослабевает.

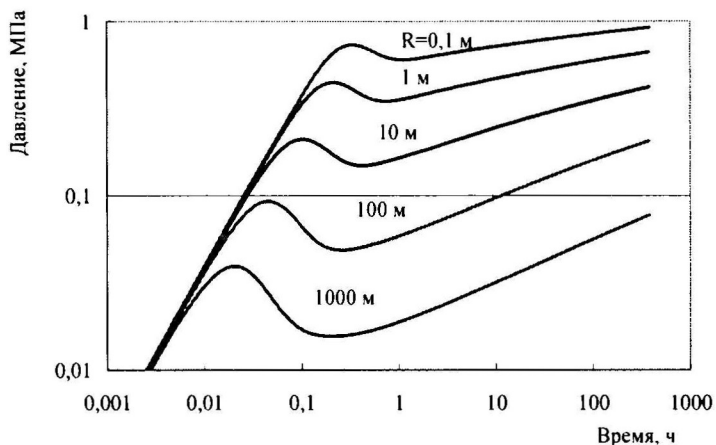
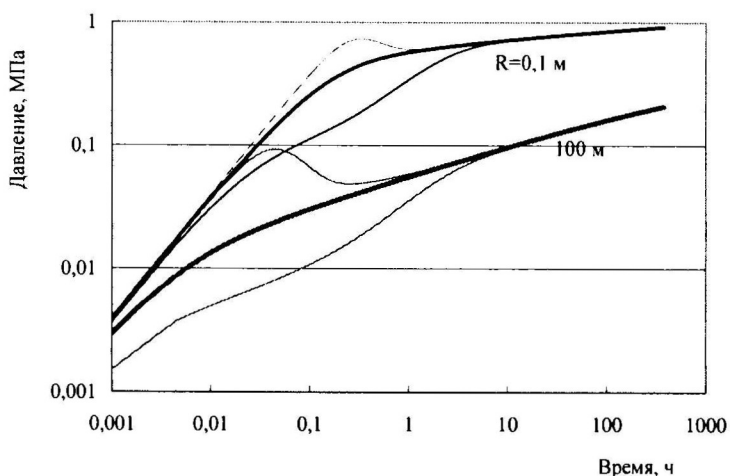


Рисунок 7 – Влияние расстояния от скважины на изменение давления для модели Христиановича С.А.

Наиболее точно изменение давления характеризует рисунок 8, на котором представлены результаты расчетов по всем трем сравниваемым моделям. Независимо от радиуса характер изменения давления совпадает при больших значениях времени (более 10 часов в данном примере). При меньших значениях времени происходит влияние релаксационных процессов. При этом для $R=0,1$ м влияние релаксационных процессов происходит в большей степени по сравнению с влиянием этих процессов при $R=100$ м (рисунок 8).

Влияние релаксационных процессов на удалении от скважины ослабевает с увеличением времени, так же как и для забойного давления на стенке скважины. Поэтому в общем случае использование релаксационных моделей не приведет к значительному увеличению точности расчетов. При этом отклонение давления по абсолютной величине от давления, рассчитанного по модели Щелкачева В.Н. уменьшается по мере удаления от скважины. Но при исследовании коллекторов с высокими фильтрационными параметрами за счет



по модели Щелкачева В.Н (толстые кривые), Христиановича С.А. (тонкие сверху) и Молоковича Ю.М. при $T_p/T_v=5$ (тонкие снизу)

Рисунок 8 – Изменение давления при принятии различных моделей на стенке скважины 0,1 м и на удалении 100 м в билогарифмических координатах

уменьшения времени реагирования использование релаксационных моделей может повысить достоверность интерпретации результатов гидропрослушивания.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выполнен анализ работ, посвященных нелинейной фильтрации жидкости. Отмечается, что принципиальным преимуществом релаксационных моделей Молоковича Ю.М. и Христиановича С.А. является учет неравновесных процессов фильтрации, происходящих в начальный период изменения давления. Данные модели не получили широкого распространения в нефтепромысловой практике, что обусловлено отсутствием учета послепритока жидкости в скважину и скин-эффекта.

2. Предложен и апробирован алгоритм расчета кривых изменения давления с учетом скин-эффекта, послепритока и конечного радиуса скважины для релаксационных моделей Молоковича Ю.М. и Христиановича С.А.

3. Показано, что область применения релаксационных моделей связана с интерпретацией КВД и КПД при малой длительности влияния послепритока. В основном, это соответствует исследованию нагнетательных скважин и исследованиям добывающих скважин в подпакерном пространстве.

4. При исключении некачественных исследований применение модели Христиановича С.А. позволяет описать КВД, содержащие максимум давления.

5. Показано, что описание начальных участков КВД при помощи релаксационных моделей Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М. с учетом послепритока приводит к повышению точности определения скин-эффекта.

6. Отсутствие учета конечной скорости распространения возмущений при использовании модели Христиановича С.А. приводит к ошибочно завышенным значениям скин-эффекта. Для модели Молоковича Ю.М. при условии превышения времени релаксации по давлению над временем релаксации по скорости ($T_p/T_v > 1$) значения скин-эффекта больше в сравнении со скин-эффектом, определенным традиционным образом.

7. Совместно со специалистами ТатНИПИнефть разработана, апробирована и внедрена в комплексно-информационную систему АРМИТС ОАО «Татнефть» программа интерпретации КВД, КПД для моделей Христиановича С.А. и Молоковича Ю.М.

8. Модель Христиановича С.А. является частным случаем модели Молоковича Ю.М. В связи с этим в общем случае можно проводить интерпретацию КВД, КПД по модели Молоковича Ю.М. Однако расчеты по модели Христиановича С.А. выполняются быстрее. Поэтому возможно применение непосредственно двух моделей и выбор наиболее приемлемой по значению суммы квадратов отклонений давления.

9. Моделирование показало, что влияние релаксационных процессов ослабевает на удалении от скважины. В связи с этим только при исследовании

коллекторов с высокими фильтрационными параметрами использование релаксационных моделей может повысить достоверность интерпретации результатов гидропрослушивания.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:**

1. Иктисанов, В.А. Учет конечной скорости распространения возмущений при неустановившейся фильтрации жидкости [Текст] / В.А. Иктисанов, А.В. Байгушев, Л.И. Гарипова // Нефтяное хозяйство. – 2010. - № 2. – С. 78-80.
2. Иктисанов, В.А. Использование релаксационных моделей при интерпретации результатов гидродинамических исследований [Текст] / В.А. Иктисанов, М.Х. Билалов, Л.И. Гарипова // Нефтепромысловое дело. – 2010. - № 10 – С. 13-16.
3. Гарипова, Л.И. Влияние конечной скорости распространения возмущений при интерпретации КВД, КПД [Текст] / В.А. Иктисанов, Л.И. Гарипова // Современные технологии гидродинамических исследований скважин на всех стадиях разработки месторождений: Материалы 8-ой науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. - С.68-69.
4. Гарипова, Л.И. Интерпретация кривых изменения давления релаксационными моделями [Текст] / Л.И. Гарипова, В.А. Иктисанов // Ученые записки АГНИ 2010 г. Том VIII. – Альметьевск: АГНИ, 2010. – С. 56-62.
5. Гарипова, Л.И. Интерпретация длительных кривых изменения давления [Текст] / В.А. Иктисанов, Н.Х. Мусабирова, Л.И. Гарипова, А.С. Султанов // Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов, Перспективы создания подземных хранилищ газа в Республике Татарстан, Казанская геологическая школа и ее роль в развитии геологической науки в России: Материалы Международных научно-практических и научно-технической конференций. - Казань: Изд-во НПО «Репер», 2009. – С.153-156.

6. Гарипова. Л.И. Изучение особенностей релаксационной фильтрации жидкости [Текст] / В.А. Иктисанов, М.Х. Билалов, Л.И. Гарипова // Современные технологии гидродинамических исследований скважин на всех стадиях разработки месторождений: Материалы 9-ой науч.-техн. конф.- Томск: Изд-во Том.ун-та, 2010. – С.57-59.

Отпечатано в секторе оперативной полиграфии
института «ТатНИПИнефть» ОАО «Татнефть»
на Xerox WCS655

тел.: (85594) 78-656, 78-565

Подписано в печать 31.05.2011 г.

Заказ №3105111 Тираж 100 экз.