

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Стрекалов А.В.

*Тюменский государственный нефтегазовый университет
email: darlex77@mail.ru*

Морозов В.Ю.

*ОАО «Тандем», г.Тюмень
email: morozov@aotandem.ru*

В статье рассматриваются аспекты применения разработанной авторами модели нестационарного течения сжимаемой жидкости к условиям фильтрации в пористых средах.

Поровое пространство любого природного коллектора относится к гидравлическим системам с пространственной сетевой структурой. Применение модели нестационарного течения в трубах малого и сверхмалого сечения дает возможность применить ее в условиях фильтрации.

В статье доказывается, что известный закон фильтрации Дарси не применим для моделей нестационарной фильтрации при значениях проницаемости выше 1–2 мкм² из-за проявлений сил инерции, обуславливающих ускорение отличное от нуля.

Ключевые слова: гидравлические, системы, нелинейные, сети, пласты

В данной работе рассматриваются аспекты применения, разработанной авторами модели нестационарного течения в применении к условиям фильтрации в пористых средах.

Так как поровое пространство можно отнести к гидравлической системе сетевой структуры и применение разработанной модели предполагает учет взаимовлияния наземной сети, скважин и пластов необходима диагностика модели нестационарной фильтрации.

Известно, что Дарси выявил свой закон фильтрации на основе экспериментов по пропусканию жидкости через цилиндрическую трубу, заполненную песком.

На данный момент известные решения подземной гидромеханики основываются на линейном законе Дарси или нелинейных законах фильтрации, связывающих градиент давления, величину скорости фильтрации, показатели гидравлического сопротивления и вязкости. Однако в известное уравнение пьезопроводности [1] фактор движения – ускорение не входит – $\vec{a}=0$, что говорит о не совсем

корректном описании движения флюидов в пористых средах. Такого рода допущение объективно не снижает точности решения для нестационарного течения и фильтрации при значительных гидравлических сопротивлениях. Данные сопротивления задаются коэффициентом проницаемости при выполнении условий линейного закона фильтрации.

Тем не менее, в условиях промысла широко применяется гидравлический разрыв пласта, в результате которого образуются трещины с коэффициентом проницаемости более 500 Дарси.

Рассмотрим пример использования разработанной модели в условиях проведения аналогичных эксперименту Дарси.

На рис. 1 показана структура простейшей модели фильтрации в трубе диаметром 0.1 м, длиной 2 м, заполненной пропантом с проницаемостью 100 Дарси. Сравнивая результаты расчета на основе классического уравнения пьезопроводности (рис. 2, рис. 4а) и разработанной авторами модели (рис. 3, рис. 4б) нетрудно заметить, что в коллекторе протекают процессы колебания давления, вследствие учета ускорения отличного от нуля. Последнее не просматривается при решении уравнения пьезопроводности.

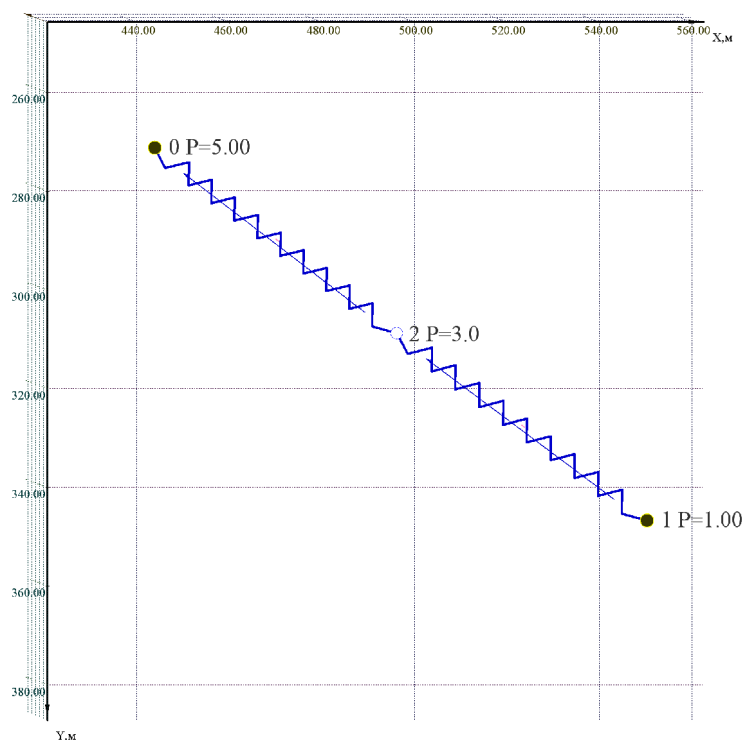


Рисунок 1. Модель фильтрации в трубе с песком

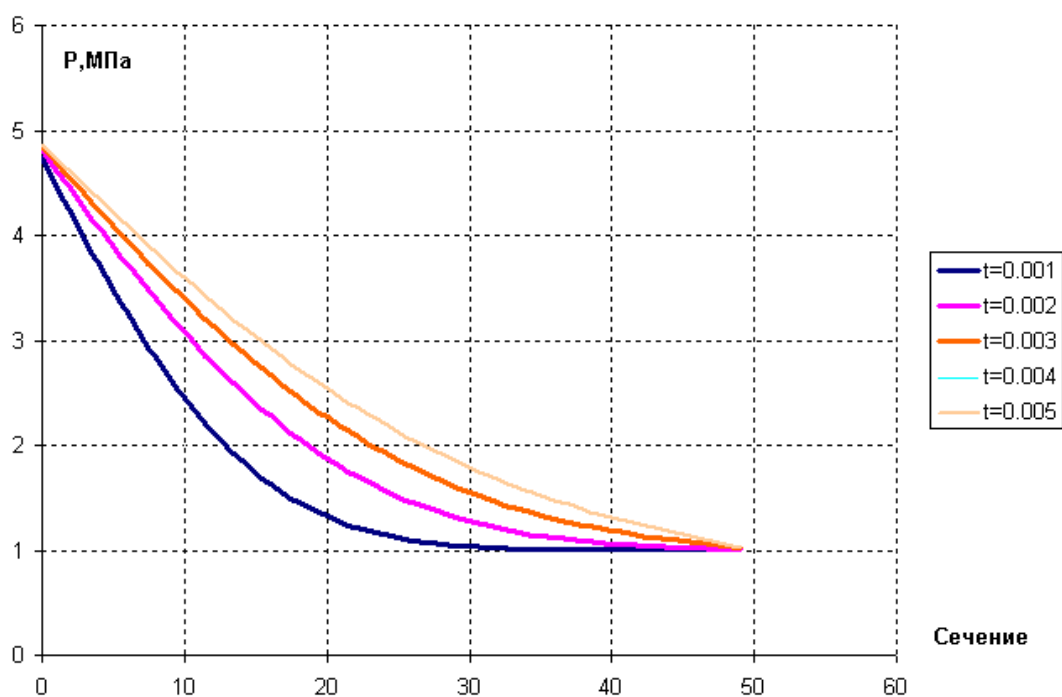


Рисунок 2. Результаты расчета на основе классической подземной гидромеханики (уравнение пьезопроводности)

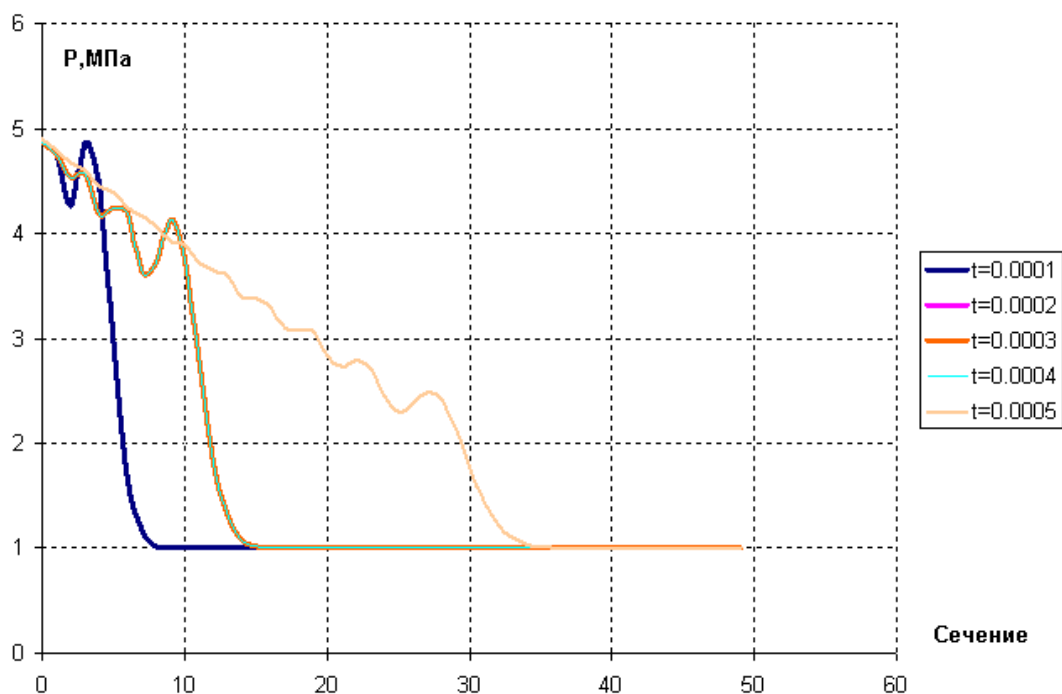


Рисунок 3. Результаты расчета на основе предлагаемой модели нестационарной фильтрации

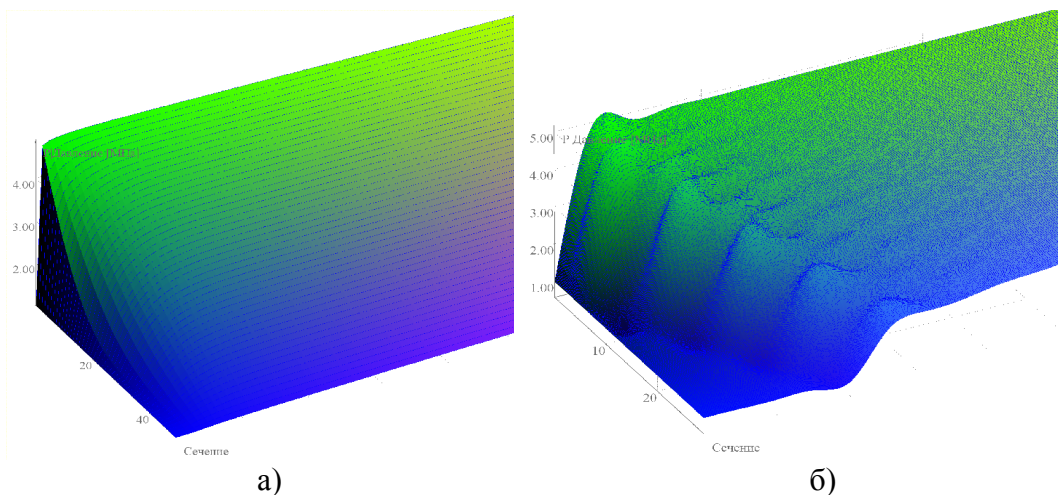


Рисунок 4. Результаты расчета:

- a* – на основе классической гидромеханики (уравнение пьезопроводности);
б – на основе предложенной модели нестационарной фильтрации

Рассмотрим модель фильтрации в околоскважинной зоне пласта, составленной из звеньев и узлов (рис. 5). Закон фильтрации в каждом звене в виде функции перепада давления от объемного расхода задан согласно закону Дарси. Проницаемость во всех звеньях равна 2 Дарси.

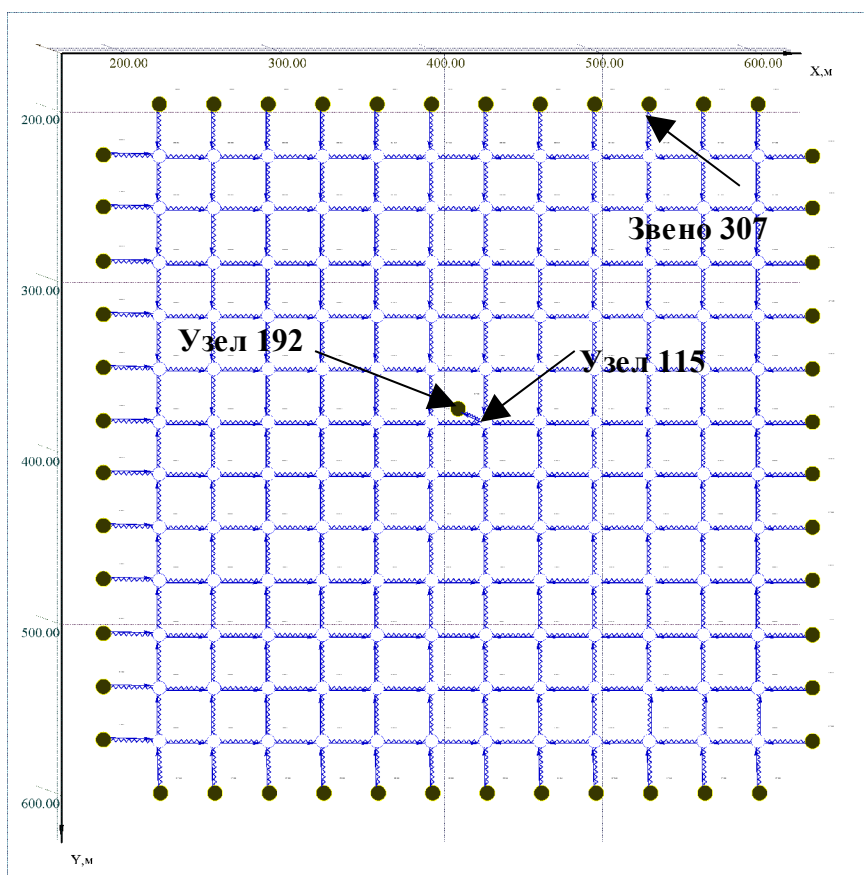


Рисунок 5. Модель притока/оттока в пласте с прямоугольной границей

Процесс выхода на стационарный режим согласно предлагаемой модели нестационарной фильтрации/течения в удаленной от забоя зоне показан на рис. 6.

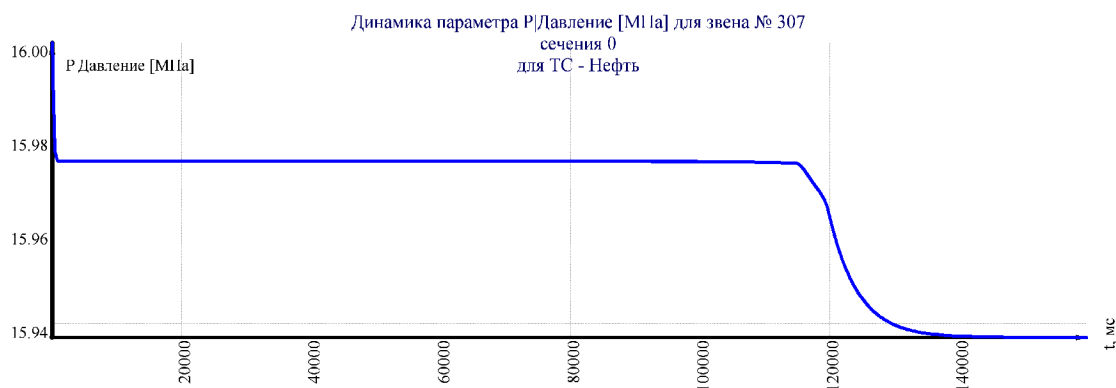


Рисунок 6. Динамика давления в звене 307 при мгновенном снижении давления в узле 192 с 16 МПа до 13 МПа

Как видно из графика на рис. 7 после создания отрицательного импульса в узле 192 по всей гидросистеме формируются гидравлические волны с постепенно увеличивающимся периодом.

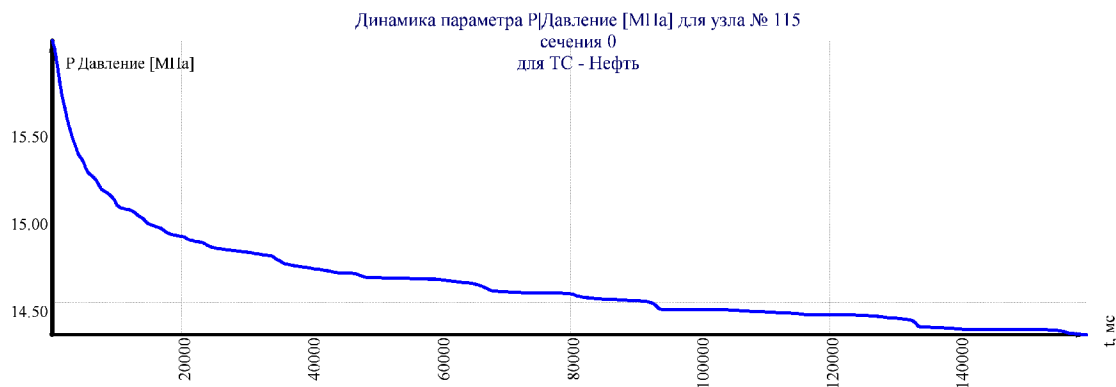


Рисунок 7. Динамика давления в узле 115(забой) при мгновенном снижении давления в узле 192 с 16 МПа до 13 МПа

После выхода модели на стационарный режим сравнение расчетных показателей депрессии при $R_k = 150$ м и расхода нефти (приток) модели и точного аналитического решения Дюпюи показало отклонение не более 0.01 %.

Характер колебательных процессов гораздо сильнее просматривается, когда в ранее созданную модель (рис. 5) добавляется трещина (см. рис. 8) посредством изменения проницаемости звеньев вдоль линий с 2 до 100 Дарси.

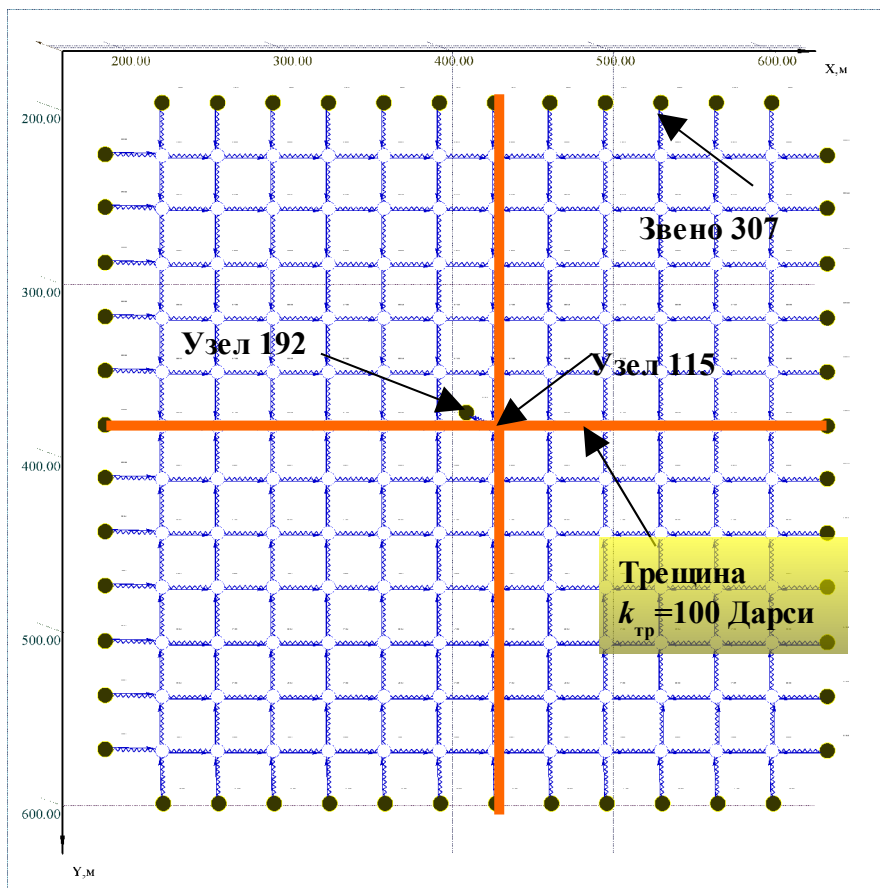


Рисунок 8. Модель притока/оттока в пласте с прямоугольной границей с наличием трещин

На рис. 9 показана динамика забойного давления для данной модели в пределах от 0 до 350 мс.

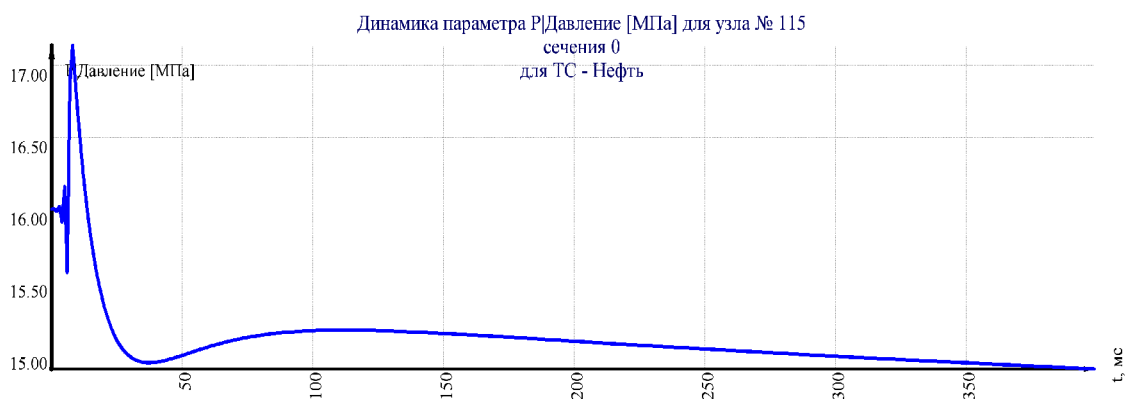
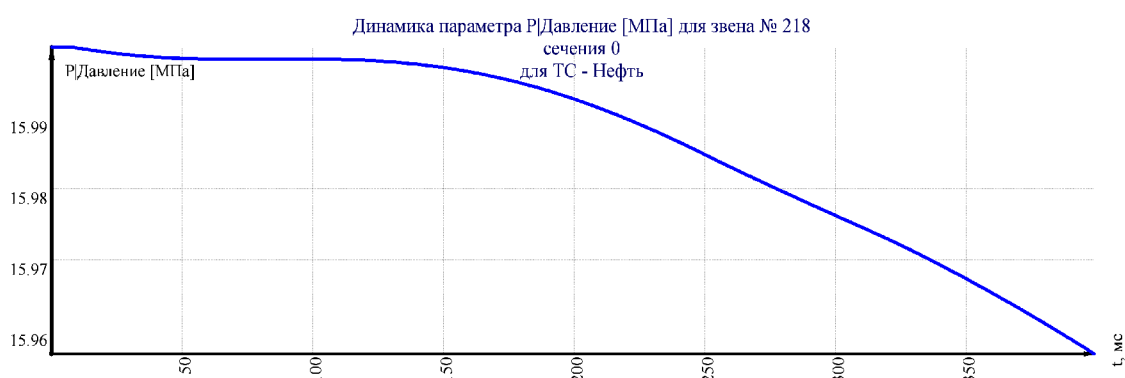


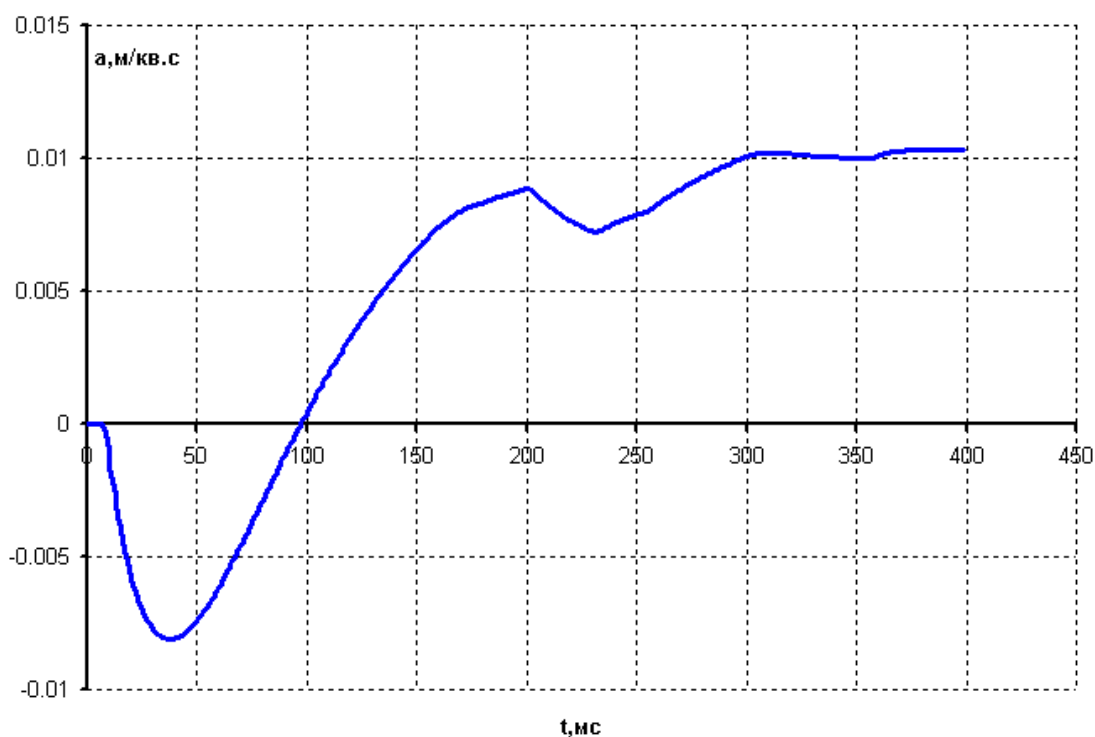
Рисунок 9. Динамика забойного давления после создания отрицательного импульса давления

График на рис. 9 демонстрирует выраженный волновой процесс в рассматриваемой гидравлической системе, который ранее не учитывался ни в одном из аналитических решений и численных моделях, реализованных в программных комплексах по моделированию пластов.

На расстоянии половины длины четверть-трещины от забоя динамика давления также имеет волновой характер.



а)



б)

Рисунок 10. Динамика показателей фильтрации на расстоянии половины длины четверть-трещины от забоя: *a* – давления; *b* – ускорения

В отличие от расчетных показателей известных численных и аналитических решений предлагаемая модель демонстрирует изменение знака первой производной давления по времени, что обусловлено инерцией потоков текучих сред и ненулевыми величинами ускорений.

Классические аналитические и численные решения принимают величину ускорения равной нулю, вследствие чего при создании отрицательного импульса давления на забое в остальных участках модели давления будут изменяться согласно монотонно убывающим функциям с постоянным знаком первой производной давления по времени.

Литература

1. Чарный И.А. Подземная гидромеханика. М.: Гостоптехиздат, 1948. 196 с.