

Моделирование процессов двухфазной фильтрации при специализированных исследованиях скважин с учетом влияния переменной минерализации водной фазы

Э.А. Иванова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

Группой сотрудников ИПНГ РАН создана новая комплексная технология исследования нефтяных скважин, позволяющая в числе других параметров определять функции относительных фазовых проницаемостей для нефти и воды [1].

Суть исследования заключается в формировании разнонаправленных, существенно двухфазных фильтрационных течений в окрестности скважины (рис. 1). Опыт проведенных на ряде скважин работ показал, что необходимо учитывать переменную минерализацию воды. Таким образом, в данной работе ставится и решается прямая задача подземной гидромеханики с учетом переменной минерализации воды.

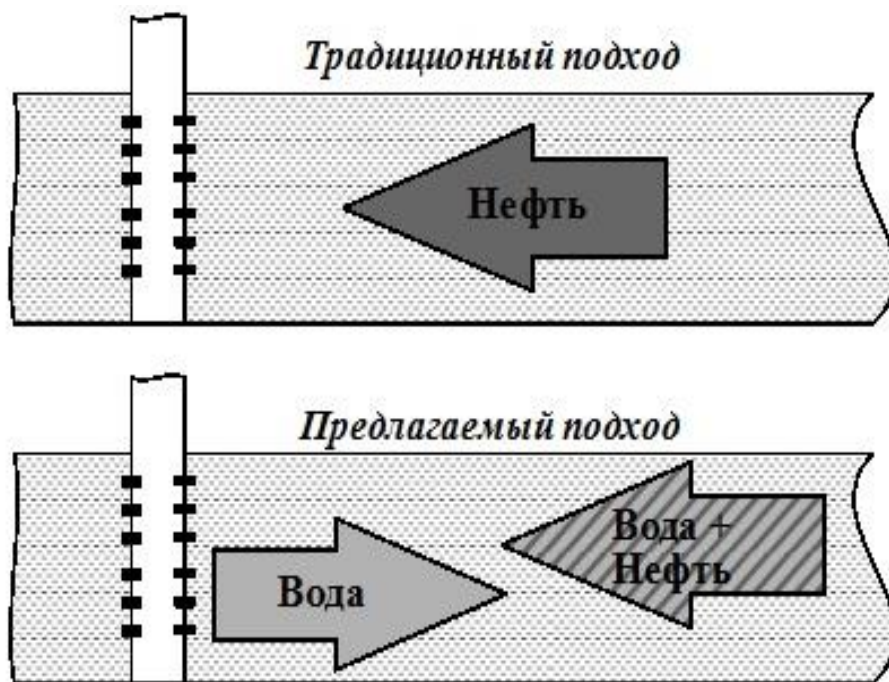


Рис. 1. Схематизация традиционного и предлагаемого подходов к исследованию нефтяных скважин.

Рассмотрена математическая модель неустановившейся плоскорадиальной двухфазной фильтрации сжимаемых несмешивающихся жидкостей в сжимаемой пористой среде. Считается, что связанная вода может обладать отличной от подвижной воды минерализацией. Поэтому масса содержащейся в ней соли учитывается отдельно, а пористость в уравнениях – эффективная. В исходной постановке концентрация солей в связанной воде принимается равновесной и равной их концентрации в подвижной воде.

После дискретизации исходных уравнений на каждом временном слое решения прямой задачи возникает нелинейная система алгебраических уравнений, которая решается методом Ньютона. На каждой его итерации матрица системы линейных уравнений является блочной трехдиагональной с размером блоков  $3 \times 3$ . Для решения этой системы применяется метод блочной прогонки. Численный алгоритм реализован в виде расширения вычислительной программы ИПНГ РАН, написанной на языке C++.

В связи с тем, что вид теоретического распределения давления для простейшего случая (стационарная фильтрация несжимаемой жидкости) представляет собой линейную функцию от логарифма радиуса, численное решение прямой задачи [2] исходно исследовалось на логарифмически равномерной сетке. Для давления оказалось, что достаточно логарифмической сетки с небольшим числом ячеек (рис. 2), а для водонасыщенности (рис. 3) и концентрации (рис. 4) нужна детальная сетка в области продвижения фронта.

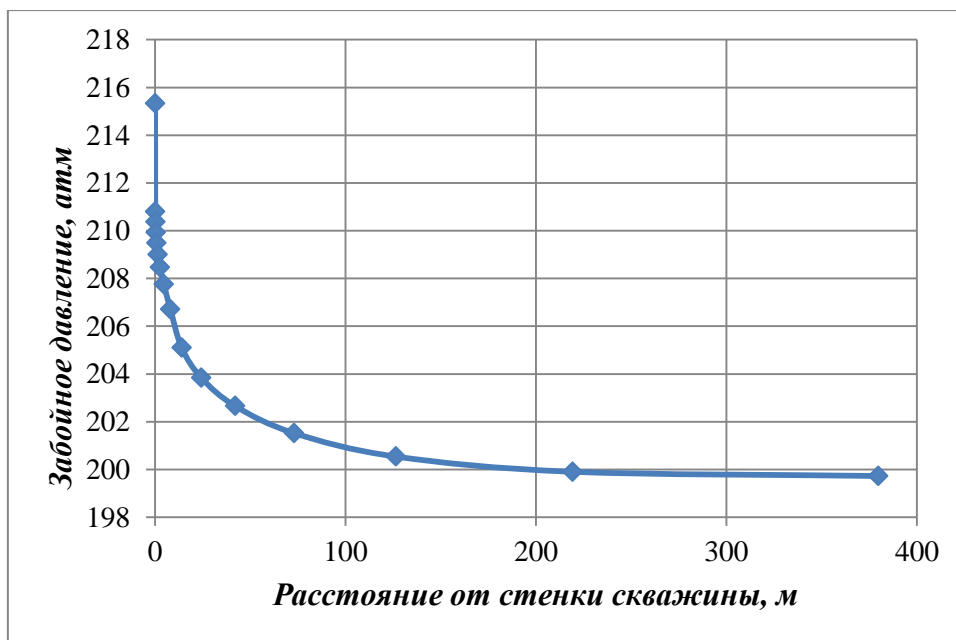


Рис. 2. Распределение забойного давления в конце третьего периода, когда осуществляется закачка минерализованной воды в пласт (логарифмическая сетка, 16 ячеек).

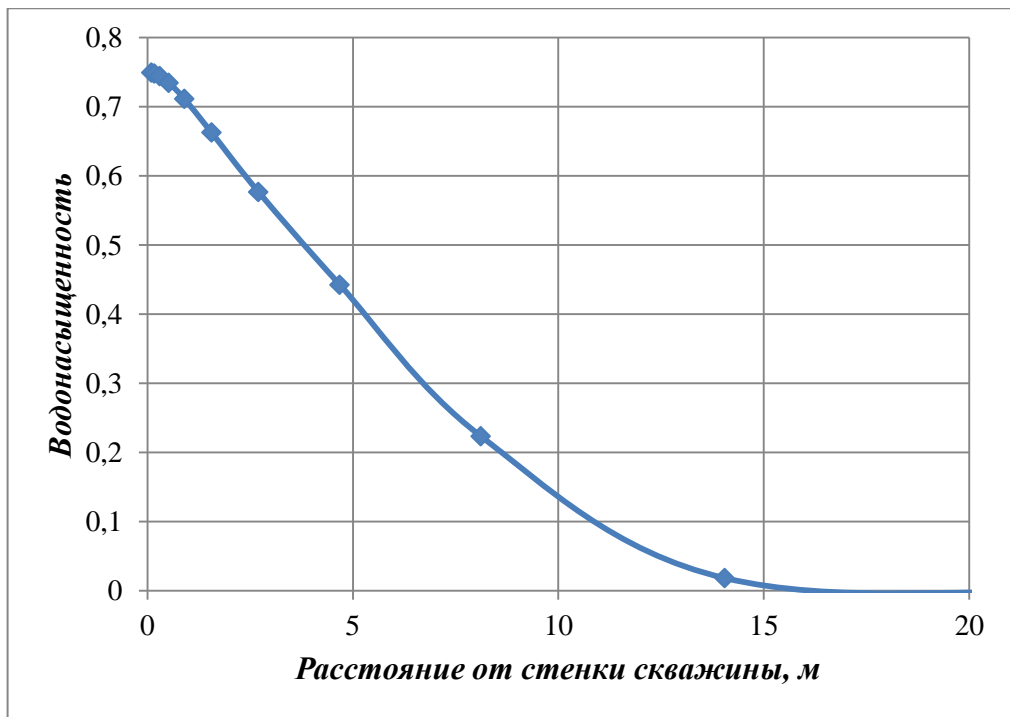


Рис. 3. Распределение водонасыщенности в конце третьего периода (логарифмическая сетка, 16 ячеек).

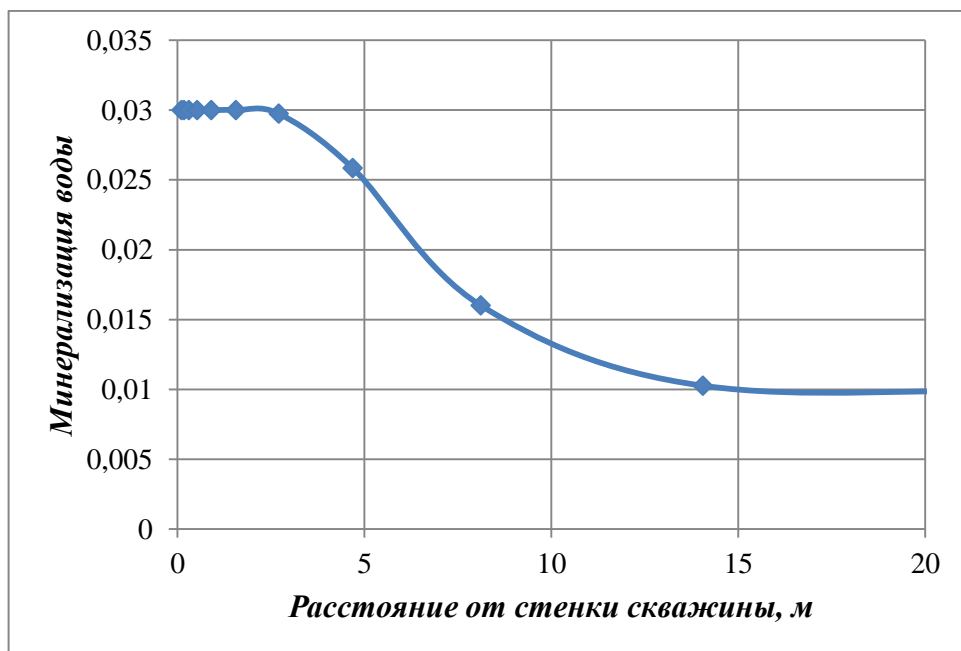


Рис. 4. Распределение минерализации пластовой воды в конце третьего периода. Минерализация закачиваемой в пласт воды выше минерализации остаточной воды (логарифмическая сетка, 16 ячеек).

При использовании линейно равномерной сетки для профиля насыщенности достигается лучшее приближение к аналитическому решению, но при большом количестве ячеек. Уменьшить количество ячеек удастся при использовании гибридной сетки. Результаты для профиля насыщенности по разным сеткам сравнивались с

аналитическим решением задачи Баклея-Лeverетта [3] (рис. 5), которое справедливо для предельного случая несжимаемых жидкостей.

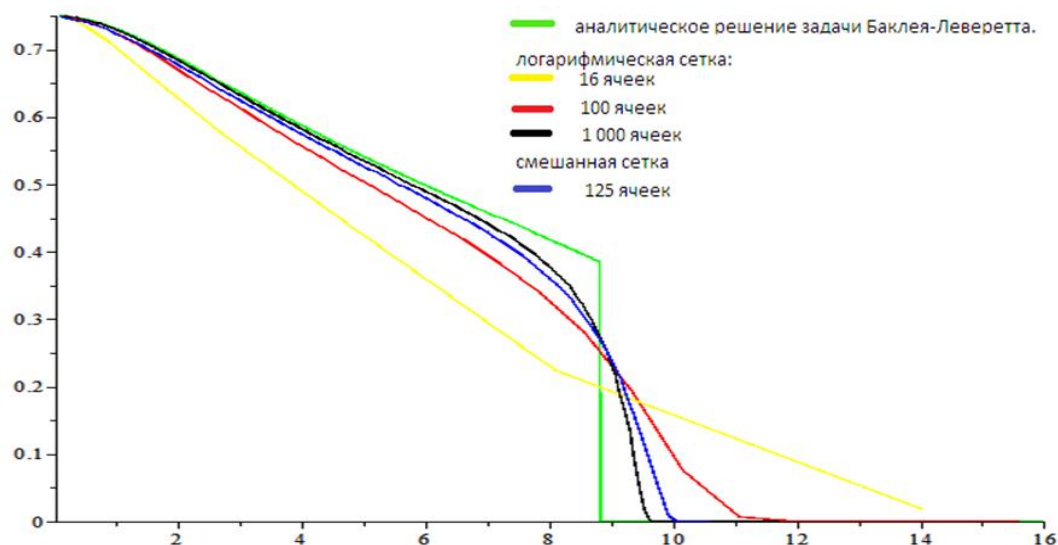


Рис. 5. Зависимости для профилей водонасыщенности от расстояния от скважины (м) по разным сеткам и аналитическое решение задачи Баклея-Лeverетта на конец третьего периода.

В качестве примера приведем результаты расчетов для гибридной сетки в 125 ячеек на конец третьего периода исследования (закачки воды). График зависимости давления от расстояния (в метрах) представлен на рис. 6, график минерализации воды при концентрации солей в закачиваемой воде выше, чем в остаточной воде — на рис. 7а; график минерализации воды при концентрации солей в закачиваемой воде ниже, чем в остаточной воде — на рис. 7б.

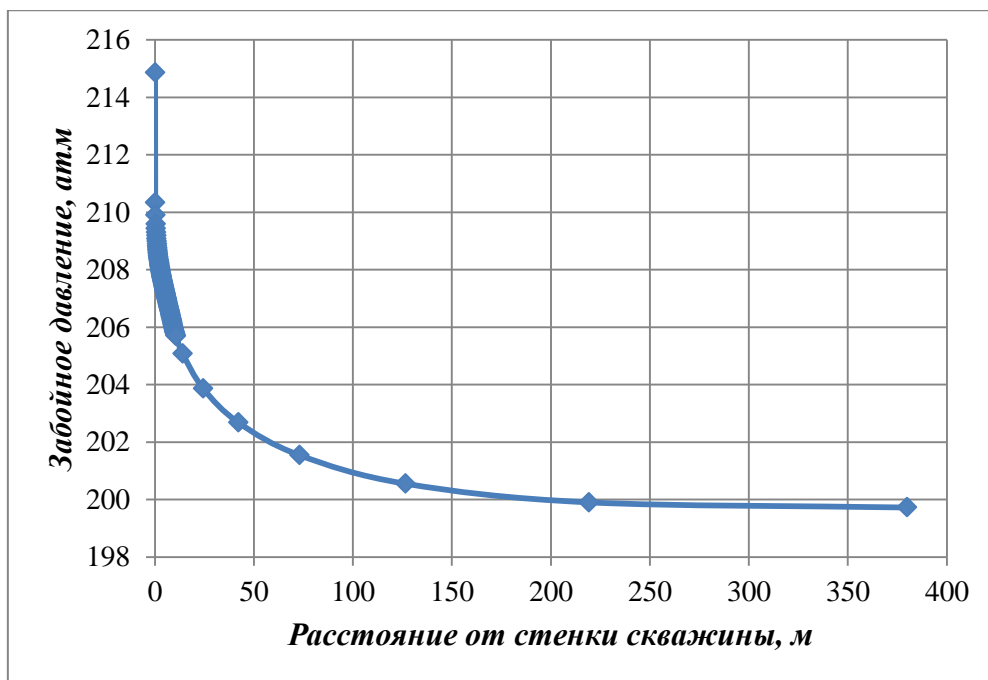


Рис. 6. Распределение забойного давления в конце третьего периода (гибридная сетка, 125 ячеек).

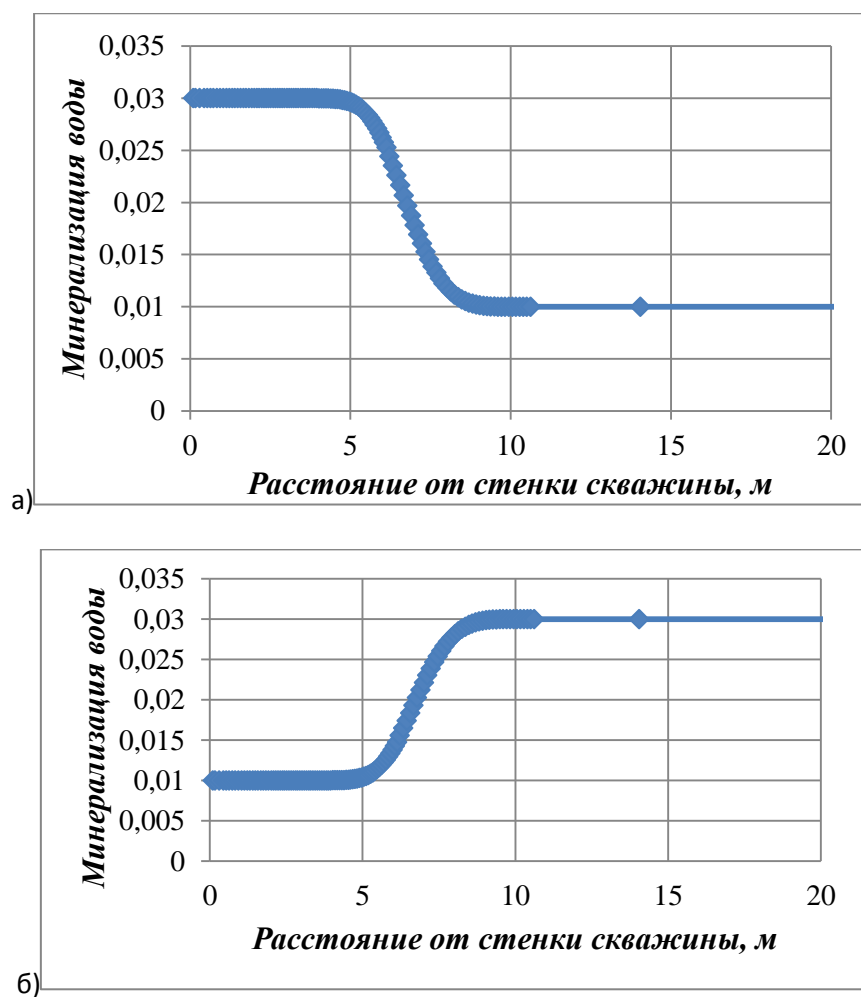


Рис. 7. Распределение минерализации пластовой воды в конце третьего периода при минерализации закачиваемой воды а) выше, чем остаточной; б) ниже, чем остаточной (гибридная сетка, 125 ячеек).

#### Литература

1. Закиров С.Н., Индрунский И.М., Закиров Э.С. [и др.] Новые принципы и технологии разработки месторождений нефти и газа. Часть 2. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2009. – 484 с.
2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982, 407 с. Перевод с англ.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – Москва «Недра», 1984.