

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ И В МЕТОДАХ СКВАЖИННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПЛАСТОВ

© Н. К. Корсакова \*, В. И. Пеньковский

\* kors@hydro.nsc.ru

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск*

Обсуждаются математические модели, описывающие влияние состояния приствольной зоны эксплуатационных скважин на основные параметры нефте-газодобычи. В процессе бурения скважины на водном глинистом растворе под действием избыточного давления (репрессии) водный фильтрат проникает в продуктивный пласт, значительно изменяя водно-физические свойства зоны проникновения [1]. Водное “загрязнение” приствольной зоны приводит к существенному снижению ее проводимости в отношении притока полезного продукта. При вызове притока (депрессии) попавшая в пласт водная фаза вытесняется не полностью. Из-за конечного эффекта капиллярного запираания дебит скважины устанавливается на уровне гораздо ниже прогнозного. Отношение  $\eta$  дебита частично затампонированной скважины к максимально возможному дебиту выражается формулой

$$\eta = I(s_0)/[\varphi(s_0)f(s_0)].$$

Здесь  $I(s_0) = \int_0^{s_0} f(s) d\varphi(s)$ ,  $f(s_0)$  — относительная фазовая проницаемость для нефти,  $s_0$  — исходная нефтенасыщенность пласта. Аналогичный режим капиллярного запираания может устанавливаться естественным образом с течением времени эксплуатации скважины из-за депрессионного вовлечения в движение содержащейся в пласте природной воды. То же можно сказать относительно причин снижения эффективности притока полезного продукта к трещинам гидроразрыва пласта.

Для получения оценок кинетики коркообразования, проникновения фильтрата бурового раствора в нефтяной пласт, изменения насыщенности и минерализации водной фазы необходим анализ взаимосвязи гидравлических и фильтрационных процессов, протекающих при бурении в системе скважина-пласт. В построенной математической модели система уравнений состоит из уравнения кинетики коркообразования, уравнений движений глинистого раствора в затрубном пространстве скважины, проникновения фильтрата в пласт, уравнения обмена солями в водных растворах. Результаты расчетов позволяют оценить изменение основных водно-физических характеристик зоны проникновения, примыкающей к скважине.

Имеющиеся оценки показывают, что некоторого улучшения фильтрационных свойств породы можно добиться очисткой приствольной зоны пласта от водной фазы путем ее гидрофобизации, кислотной обработки или импульсным вибровоздействием. Известно, что, благодаря вязкостной неустойчивости вытеснения несмешивающихся фаз, при добыче нефти с применением нагнетающих воду скважин в пласте возникают языки воды, опережающие некоторый средний фронт вытеснения. Как показывают эксперименты, прорыв таких языков происходит быстрее к уже частично затампонированным водой добывающим скважинам. Образующийся при этом своеобразный “водопровод” резко снижает эффективность работы скважины, и ее эксплуатация быстро становится нерентабельной.

Процесс “пальцеобразования” и обводнения эксплуатационной скважины может быть еще более значительным в случае, когда нефтяной пласт содержит некоторое количество свободного газа. В этом случае вода прорывается значительно быстрее из-за высокой подвижности

(произведения отношения вязкости воды к вязкости газа на относительную фазовую проницаемость пористой среды) газовой фазы.

Кроме этого, распространение языков воды в пласте происходит зачастую поперек основного направления потока фаз. Это приводит к образованию замкнутых областей невытесненной нефти — целикам. Такие замкнутые образования в определенных условиях, зависящих от их характерных размеров и действующих градиентов вытеснения, могут, благодаря так называемому эффекту внутреннего капиллярного запираания, как угодно долго находиться неподвижными в динамическом равновесии с общим фильтрационным потоком. По известным средним градиентам вытеснения можно оценить размеры вероятных замкнутых включений и величину нефтеотдачи пласта. В некоторых случаях критерий предельного динамического равновесия включения с потоком водной фазы имеет простой вид. Так в случае одномерного движения он выражается неравенством

$$\lambda \leq \lambda_{max},$$

где  $\lambda = di_0/p_k^0$ ,  $d$  и  $p_k^0$  — характерные величины целика и капиллярного давления (в м. столба воды),  $i_0$  — градиент давления в набегающем потоке,  $\lambda_{max} = 8/15$ .

Методом конечных элементов решен ряд задач плоской фильтрации по обтеканию целиков нефти произвольной формы.

Подробное исследование перераспределения несмешивающихся фаз в прискважинной зоне позволяет установить пространственное поле удельного электрического сопротивления [2]. Эти результаты используются в предложенном методе интерпретации данных скважинного электрокаротажа пластов с помощью техники ВИКИЗ (высокочастотного индукционного каротажного изопараметрического зондирования).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данаев Н. Т., Корсакова Н. К., Пеньковский В. И. Массоперенос в прискважинной зоне и электромагнитный каротаж пластов. Алматы: Казак. университеті, 2005. 180 с.
2. Корсакова Н. К., Пеньковский В. И. Электромагнитное зондирование пластов // ПМТФ. 2004. Т. 45, № 6. С. 65–71.