

Роль пластового давления, температуры и внешних напряжений при гидравлическом разрыве пласта

*В.А. Байков, Т.Т. Гарипов, И.С. Желтова,
А.А. Яковлев (ООО «РН-УфаНИПИнефть»),
С.В. Лукин (Институт механики УНЦ РАН)*

В настоящее время большинство нефтегазовых месторождений России находится на завершающей стадии разработки. Новые месторождения содержат трудноизвлекаемые запасы углеводородов, их коллекторы характеризуются низкой проницаемостью и высокой расчлененностью. Одним из основных методов интенсификации разработки сложных и проблемных нефтегазовых месторождений является гидравлический разрыв пласта (ГРП). На основных месторождениях компании существуют проблемы преждевременного обводнения эксплуатационного фонда скважин и эффективного планирования ГРП. Данные проблемы связаны, в частности, с эффектом автоГРП (с ростом трещин в нагнетательных скважинах) и эффектом концевой экранирования. Кроме того, существует проблема определения геометрии (направления) трещины в зависимости от распределения пластового давления.

При рассмотрении таких задач часто используется классический подход к возникновению трещин в пластично-упругом материале, исследуются классические уравнения теории упругости и пластичности. Большой вклад в изучение поведения трещин внесли механики А. Гриффитс и Г. Ирвин, которые предложили энергетический критерий и силовой критерий разрушения материала. При изучении ГРП необходимо учитывать отток части жидкости через поверхность трещины в горные породы. Возникающие фильтрационные потоки в породе порождают массовые источники, приводящие к изменению полей напряжений и температуры вблизи трещины. На поздних стадиях развития трещины ГРП возникает эффект концевой экранирования – в определенный момент кончик трещины заполняется частицами проппанта, и рост трещины прекращается.

В ООО «РН-УфаНИПИнефть» создан программный модуль, позволяющий определить геометрию трещины и ее рост в 3D модели с учетом температуры нагнетаемой жидкости. В основе программного модуля лежит математическая модель деформации насыщенной пористой среды, предложенная Р.И. Нигматулиным с учетом уравнения энергии Э.Б. Чекалюка и критерия разрушения Г. Ирвина.

В Институте механики УНЦ РАН решена подзадача влияния режима закачки проппанта на динамику раскрытия трещины и ее конечную форму. Для численного описания динамики трещины гидроразрыва разработана математическая модель в приближении Перкинса. Разработан компьютерный код, реализующий численное решение уравнений модели. Исследовано поведение трещины ГРП при различных упругих и коллекторских свойствах пласта, а также при разных свойствах агента гидроразрыва и режимах закачки.

Численные результаты созданных программных модулей могут использоваться для выбора режимов проведения ГРП, работы нагнетательных скважин и планирования операций ГРП.