

Модель неполных фазовых превращений газовых гидратов

В.И. Кондауров
(Московский физико-технический
институт)

Рассматривается пористая среда, насыщенная газовыми гидратами, способными разлагаться на газ и воду при повышении температуры и/или уменьшении давления. Формулируется модель фазовых превращений нового типа, для которых характерно частичное превращение, глубина которого является функцией текущего термодинамического состояния. В отличие от классической теории фазовых переходов первого рода, для которых фазы материала разделены межфазной поверхностью сильного разрыва, в данном случае происходит постепенный переход от твердого к газо-жидкостному состоянию. Показано, что фазовые превращения рассматриваемого типа обусловлены различием капиллярного давления в поровых каналах разного диаметра. Поэтому условия Гиббса, рассматриваемые на микромасштабе, приводят к тому, что равновесие достигается сначала в узких каналах и только при дальнейшем росте температуры - в широких.

С помощью методов неравновесной термодинамики дано новое описание кинетики превращения, которая связана с конечным временем установления капиллярного равновесия, т.е. с перераспределением флюидов в поровых каналах под воздействием капиллярных сил. В отличие от свободных газовых гидратов, кинетика превращений которых определяется скоростью образования и роста зародышей новой фазы, перераспределение флюидов в поровых каналах под действием капиллярных сил – процесс значительно более медленный.

Показаны способы последовательного термодинамического учета влияния вязкоупругих деформаций скелета на процесс фильтрации газа, образующегося при диссоциации гидрата. Необходимость учета таких деформаций связана с тем, что диссоциация гидрата резко изменяет реологические свойства скелета пористой среды, зерна которого первоначально сцементированы гидратом. Превращение жесткого скелета в вязкоупругий материал сопровождается затеканием поровых каналов и существенным изменением фильтрационных свойств среды. На основе предложенной модели решены задачи фильтрации продуктов разложения газового гидрата. Исследовано влияние начальной пористости, закона изменения проницаемости и других параметров модели на распределение порового давления и глубину превращения. Выявлены эффекты, связанные с уменьшением дебита добывающей скважины вследствие как расширения области диссоциации, так и вязкоупругой консолидации пласта.