

**Аналитическое исследование и численное моделирование волны
внутрипластового горения при двухфазном фильтрационном течении**

В.Е. Родионов¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

Применительно к методам повышения нефтеотдачи в основу метода внутрипластового горения положен процесс сжигания части нефти или кокса/керогена, содержащейся в пористой среде, приводящий, в частности, к нагреву и увеличению подвижности несгоревших фракций. Образовавшиеся при этом продукты реакции вытесняют нефть из пласта. В ряде случаев этот метод обладает большим потенциалом по сравнению с другими способами повышения нефтеотдачи.

Рассмотрим пористый слой, заполненный частично жидкой нефтью (или неподвижным коксом/керогеном), частично газовой фазой. Через левую границу в слой нагнетается газ, содержащий окислитель, который при достаточно высоких температурах может вступать в реакцию с нефтью. На левой границе слоя тем или иным способом инициируется реакция горения, которая затем распространяется слева направо. В зависимости от параметров задачи (теплофизических свойств фаз и скелета, начальной насыщенности слоя нефтью, концентрации окислителя в нагнетаемом газе и др.) могут реализоваться различные сценарии распространения волн: вытеснения, горения и тепловой. Мы во всех случаях полагаем, что волна вытеснения является наиболее быстрой и режим распространения внутрипластового горения определяется соотношением между скоростями волны горения и тепловой волны. Режим, в котором тепловая волна распространяется быстрее волны горения, называется Reaction-trailing front (RTF), в противном случае режим называется Reaction-leading front (RLF). В первом случае горячие продукты реакции опережают зону горения и фронт реакции распространяется по предварительно прогретой среде. Во втором случае волна горения распространяется по холодному начальному фону. Следует понять, в каком режиме и с какой скоростью будет распространяться волна горения, какая температура будет достигаться в зоне реакции, какая часть нефти или окислителя (в зависимости от режима распространения волны) вступит в реакцию. Схожая постановка задачи встречается в работах [1] – [3].

В данной работе исследовались некоторые вопросы распространения волн внутрипластового горения. Мы не рассматривали сопутствующие горению процессы испарения/конденсации воды и легких фракций нефти, крекинга и пиролиза керогена и др. [4], а подробно сосредоточились на основном процессе – распространении волны горения. Целью работы являлось проведение аналитического исследования и численного моделирования внутрипластового горения в рамках модели неизотермической двухфазной фильтрации в пористом слое.

В докладе предложены критерии, позволяющие предсказать возможность реализации различных режимов распространения волны горения, и алгоритм расчета скорости этой волны. Приводятся результаты численного моделирования реагирующей двухфазной фильтрации и сравнение результатов расчетов с теоретическими оценками.

Литература

1. Mailybaev A.A., Bruining J., Marchesin D. Analysis of in situ combustion of oil with pyrolysis and vaporization // *Combustion and Flame*. 2011. V. 158, I. 6. P. 1097–1108.
2. Youtsos M.S.K., Mastorakos E. Numerical simulation of thermal and reaction waves for in situ combustion in hydrocarbon reservoirs // *Fuel*. 2013. V. 108. P. 780–792.
3. Gargar N.K., Mailybaev A.A., Marchesin D., Bruining J. Compositional effects in light/medium oil recovery by air injection: vaporization vs. combustion // *Journal of Porous Media*. 2014. V. 17, I. 11. P. 937–952.
4. Алекперов В.Ю., Грайффер В.И., Николаев Н.М. [и др.] Новый отечественный способ разработки Баженовской свиты (часть 2) // *Нефтяное хозяйство*. 2014. № 1. С. 50–53.