

ОБРАЗОВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СЛАНЦЕВ В ТОЛЩЕ ПЛАСТА

А.Г. Князева, А.Л. Маслов

*Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук
634055, г. Томск, Россия*

Термическая переработка горючих сланцев позволяет получать высокоуглеродистые газообразные и жидкие продукты, которые могут использоваться как сырье в энергетической и химической промышленности [1, 2].

Предлагается математическая модель термического разложения сланцев, учитывающая процессы распространения тепла в породе и продуктах ее разложения, кинетику химических реакций, их тепловые эффекты реакций, течение образующихся продуктов в порах скелета сланца.

Так как в сланце теплопроводность вдоль слоев превалирует над теплопроводностью в поперечном направлении, использовалась двумерная постановка задачи.

Представим сланец твердой средой, поры в которой в начальный момент времени заполнены небольшим количеством газа G_R . Пусть при нагреве твердый реагент A_S , образующий скелет сланца, разлагается на твердый токопроводящий продукт B_S и газ B_G , идентичный по составу газу G_R , и смешивающийся с ним в порах. В свою очередь, газ G_R , считающийся полезным продуктом, при нагревании превращается в газ G_P .

Таким образом, химические реакции при разложении сланца можно представить следующей условной схемой:



Нагрев в модели осуществлялся наложением переменного электрического поля при помощи равномерно расположенных электродов и происходил за счет выделения джоулевого тепла и эффекта поляризации. При этом учитывалось явление накопления проводящего продукта B_S .

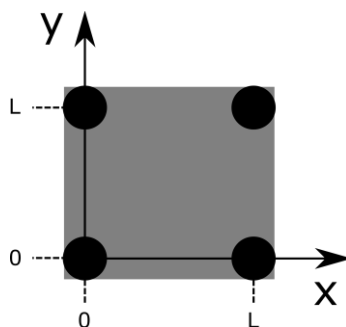


Рис. 1. Иллюстрация к постановке задачи.

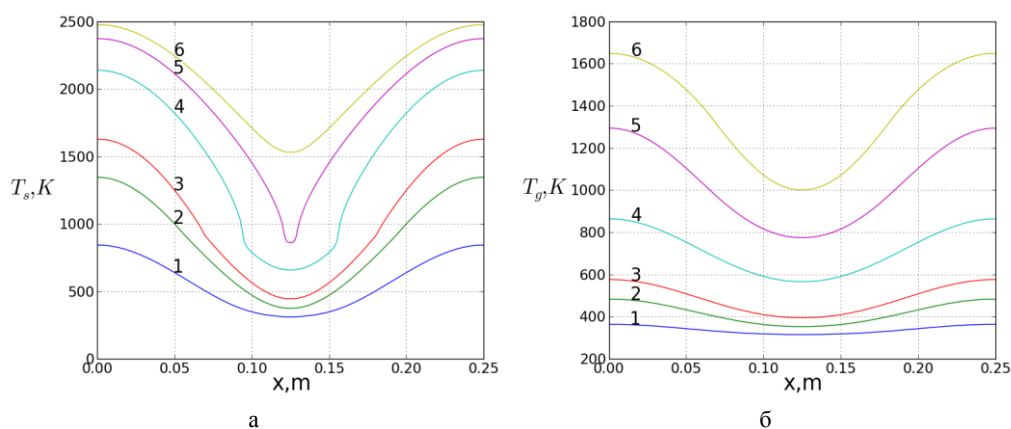


Рис. 2. Профили температур в твердой фазе (а) и газе (б) в сечении $y = 0$. 1 - $t = 200$ с., 2 - $t = 1000$ с., 3 - $t = 2000$ с., 4 - $t = 7000$ с., 5 - $t = 14000$ с., 6 - $t = 20000$ с.

При нахождении температуры в твердой фазе (T_s) и температуре в газе (T_g) учитывались явления межфазного теплообмена и изменение теплофизических свойств по мере нагрева. Считалось, что теплопроводность и диффузия в газе пренебрежимо малы по сравнению с конвективным теплопереносом. Было учтено возрастание давления при накоплении газообразных продуктов. Скорость течения газов удовлетворяла закону Дарси. Более подробно постановка задачи описана в [3].

Решение задачи осуществлялось численно, с применением неявных конечно-разностных схем и алгоритма прогонки.

На рис. 2. приводятся типичные температурные профили для твердой фазы и газа.

Что ожидается для данной задачи, температура достигает максимального значения вблизи электродов и монотонно убывает по мере удаления от них.

Примеры профилей концентраций показаны на рис. 3.

Концентрация твердого продукта ведет себя подобно температуре, достигая максимума вблизи электродов (рис. 3, а). Концентрация газообразного реагента меняется более сложным образом, так как на ее динамику кроме температуры существенно влияют межфазный массообмен и конвективный перенос вещества (рис. 3, б).

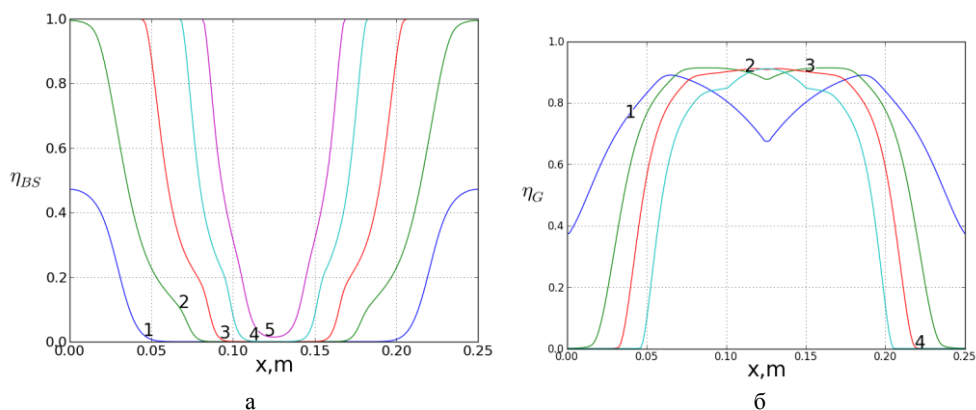


Рис. 3. Профили концентраций а) – твердого продукта B_S , б) – газообразного реагента G_R . 1 - $t = 200$ с., 2 - $t = 1000$ с., 3 - $t = 2000$ с., 4 - $t = 4000$ с., 5 - $t = 6000$ с.

Модель позволяет варьировать ряд параметров, например пористость сланца ξ (рис. 4).

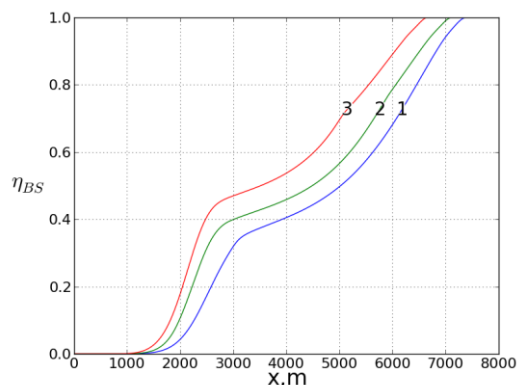


Рис. 4. Концентрация твердофазного продукта в точке с координатами $(L/4; L/4)$ при варьировании пористости. 1 - $\xi = 0.025$, 2 - $\xi = 0.05$, 3 - $\xi = 0.1$.

Заключение

Течение процесса термического разложения горючих сланцев определяется взаимодействием и конкуренцией между различными явлениями: межфазным тепло- и массопереносом, фильтрацией образующихся продуктов в пористой среде, тепловыми эффектами химических реакций и т.д. Ввиду этого процесс носит сложный многостадийный нелинейный характер, зависящий от большого количества параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. – М., Наука, 2004. –159 с.
2. Speight J. G. Synthetic Fuels Handbook: Properties, Process, and Performance / McGraw-Hill Education. – 2008. – 422р.
3. Князева А.Г., Лопатин В.В., Мартемьянов С.М., Маслов А.Л., Хан Вэй. Моделирование подземного нагрева сланцев в электромагнитном поле // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2011 – Том 54. - №11/3. – С. 5-11.