

Математическая модель процесса горения газогидрата¹

Гималтдинов И.К., Столповский М.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Гидраты природного газа представляют твердые кристаллические соединения воды и газа (чаще всего метана), образующиеся при высоких давлениях и температурах. Гидраты привлекают к себе особое внимание, с одной стороны, в связи с тем, что в них аккумулированы огромные запасы природного газа. Процесс горения гидратов рассматривалась в работах [1, 2]. Из экспериментальные данные следует, что если обеспечить стекание воды с поверхности газогидрата, то теплота сгорания выделившегося при диссоциации метана достаточна для поддержания горения.

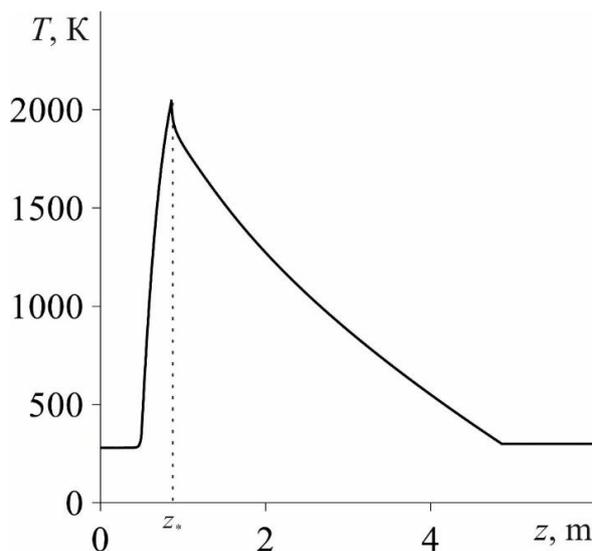
В данной работе представлена математическая модель процесса горения плоского слоя газогидрата метана, помещенного в газовую среду с окислителем. Математическая модель включает в себя уравнения неразрывности для газовой смеси, а также для каждого отдельного ее компонента. Кроме того, модель дополняется уравнениями теплопроводности для газа и газогидрата, а также условиями, следующими из законов сохранения масс и тепла на границе фазового перехода «газогидрат – газ».

Рассмотрим плоский слой гидрата исходной толщины a_0 и температуры T_0 , помещенный в атмосферу с окислителем. Температуру и давление атмосферы положим равными T_a и p_a . При этом будем полагать $T_a > T_s(p_a)$, где $T_s(p_a)$ – равновесная температура гидратообразования, соответствующая давлению p_a . Тогда из-за превышения температуры атмосферы равновесной температуры гидратообразования при данном давлении газогидрат метана начинает разлагаться на метан и воду. Таким образом, в некотором слое вблизи газогидрата будет присутствовать топливо – метан (достаточное для возгорания

Будем полагать, что система состоит из двух областей, одна из которых ($0 \leq z \leq z_{(s)}$) содержит газогидрат, а другая ($z > z_{(s)}$) соответствует газовой фазе. Координата $z_{(s)}$ – соответствует границе фазового перехода «газогидрат – газ». Система основных уравнений для области ($z > z_{(s)}$), представляет собой уравнения неразрывности для газовой смеси в целом и каждого ее компонента,

притока тепла и закон Дальтона. Для нахождения температуры в газогидрате ($0 < z \leq z_{(s)}$) используется уравнение теплопроводности. Кроме того, систему уравнений дополняется условиями баланса массы и тепла на границе фазового перехода $z = z_{(s)}$ между поверхностью газогидрата и газовой смеси, а также начально-граничными условиями.

Из рисунка следует, что температура в области газогидрата меняется незначительно. При этом температура в газе при движении от границы фазового перехода сначала возрастает, а затем убывает до исходной. Это обусловлено тем, что наибольшая температура наблюдается в точке, координата которой соответствует фронту горения. Температура на пике достигает значения порядка 2000 К, что соответствует фронту пламени.



- [1] . Nakoryakov V. E., Misyura S.Ya., Elistratov S. L., Manakov A. Yu., and Sizikov A. A. Methane Combustion in Hydrate Systems: Water–Methane and Water–Methane–Isopropanol // Journal of Engineering Thermophysics. 2013. Vol. 22, No. 3. P. 169–173.
- [2] Misyura S.Y. Efficiency of methane hydrate combustion for different types of oxidizer flow // Energy. 2016. Vol. 103. P. 430–439.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00526