



Тепломассоперенос и диспергирование при нагреве композиционного топлива гранул гидрата метана и жидкого биотоплива¹

Стрижак П.А., Антонов Д.В.

Томский политехнический университет, Томск

В работе приведены результаты экспериментальных исследований характеристик взаимосвязанных физико-химических процессов и фазовых превращений при нагреве композиционного жидкого топлива на основе гранул гидрата метана и жидкого биотоплива в виде рапсового масла. Изучены закономерности трансформации поверхности образца топлива при инициировании процессов плавления, испарения, кипения, диссоциации, диспергирования и зажигания. Разработана прогностическая математическая модель тепломассопереноса для композиционного топлива.

Введение

Основным направлением применения гидратов метана считается энергетический сектор [1]. Их рассматривают как перспективный и экологичный альтернативный дополнительный вид топлива и добавку для энергетических установок [2]. В связи с повышенным интересом к альтернативным видам топлива для повышения экологических характеристик работы энергетических и двигательных установок в последние годы активно развиваются технологии вовлечения биокомпонентов в энергетический цикл. Наибольшую калорийность имеют жидкие биотоплива, в частности, рапсовое масло. Однако прямое сжигание рапсового масла имеет

определенные ограничения. Это является основной причиной использования данного масла в качестве добавки к различным энергетическим топливным смесям. Композиционное топливо, приготовленное из смеси преимущественно отработанных компонентов, характеризуется устойчивым равномерным горением, что позволит заменять им первичные энергоресурсы и снижать негативное воздействие на объекты окружающей среды. Добавление рапсового масла в качестве биотоплива к газовому гидрату позволит получить экологичное и энергоэффективное композиционное топливо. Это и послужило мотивацией настоящей работы. Цель настоящей работы – определение критических условий зажигания образцов композиционного жидкого топлива на основе гранул гидрата метана и жидкого биотоплива в виде рапсового масла на основе результатов экспериментальных исследований и численного моделирования.

¹Работа выполнена при поддержке гранта Приоритет-2030-НИП/ЭБ-006-375-2023

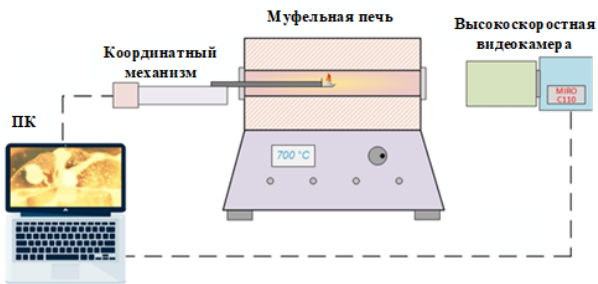


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Экспериментальная методика

В качестве образцов газового гидрата использовались гранулы гидрата метана с пористостью 28–32%. Содержание метана в грануле гидрата составляло 11–13%. В качестве жидкого горючего компонента использовалось рапсовое масло (ГОСТ 31759-2012).

Для определения характеристик зажигания и горения исследуемых топлив использовался экспериментальный стенд, представленный на Рис. 1.

Результаты экспериментального исследования

На Рис. 2 представлены типичные видеокадры, полученные при регистрации характеристик зажигания исследуемых топлив. Для всех топливных композиций зарегистрированы специфические особенности. Так, например, зажигание газового гидрата (Рис. 2а) включало два этапа. Сперва инициировалось зажигание в процессе диссоциации метана и кипения талой воды, а затем инициировалось горение в приповерхностном слое газового гидрата с малым размером пламенной зоны.

Данный эффект обусловлен ограниченной скоростью диссоциации метана, т.е. не весь объем гидратизированного газа одновременно вступал в реакцию, а лишь его небольшая доля, диссоциирующая со свободной поверхности. Совместное сжигание гидрата метана и рапсового масла характеризовалось тремя этапами (Рис. 2б). Сперва происходило зажигание диссоциирующего метана и паров рапсового масла, сопровождающееся диспергированием микрокапель жидкости. Далее инициировалось воспламенение рапсового масла, прогретого до критических температур. Горение рапсового масла происходило в газовой фазе. Пары масла наиболее интенсивно формировались при температуре приповерхностных слоев 232 °С за счет интенсивного кипения масла (227 °С). Так как в образце топлива с маслом присутствует гидрат, то при его диссоциации определенный объем воды остается. Формируется граница раздела вода/масло. Этот фактор приводит к диспергированию образца в режимах микровзрыва и паффинга.

На Рис. 3 приведены установленные зависимости значений времени задержки зажигания гидрата метана и рапсового масла от температуры газовой среды в камере сгорания. Максимальные времена задержки зажигания соответствуют смеси рапсового масла и воды. Для данного состава при изменении температуры в камере сгорания от 500 °С до 900 °С времена задержки зажигания снижались с 31 с до 6.5 с. Это обусловлено большими затратами энергии на испарение воды для интенсификации зажигания паров масла. Времена задержки зажигания для гидрата метана изменялись в диапазоне 0.6–5.9 с при температуре в камере сгорания 700–900 °С.

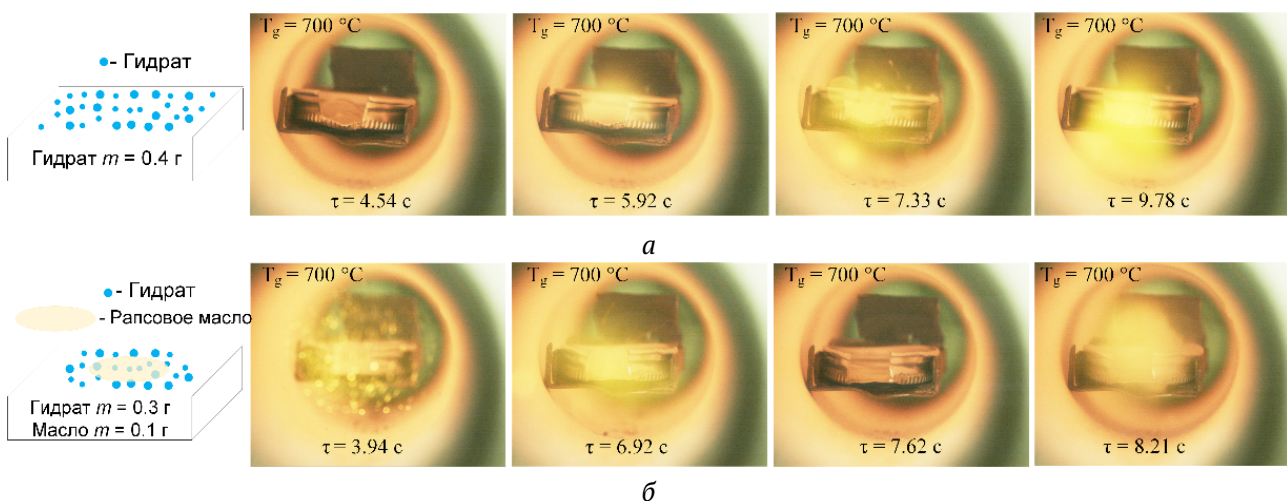


Рис. 2. Видеофрагменты воспламенения образцов исследуемых топлив: а – гидрат; б – рапсовое масло и гидрат

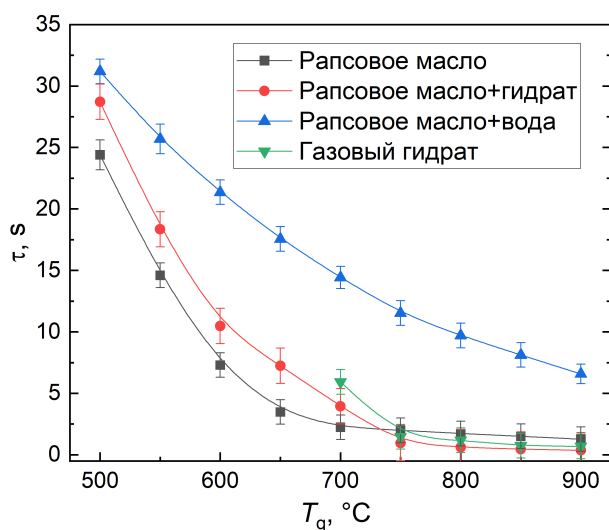


Рис. 3. Зависимости времени задержки зажигания гранул газового гидрата и рапсового масла от температуры газовой среды в камере сгорания

Математическая модель

Для демонстрации условий прогрева слоев, состоящих из гранул гидрата метана, воды и жидкого биотоплива, разработана модель. При формулировании базовой постановки задачи считалось, что композиционное топливо прогревается в муфельной печи.

Полученные результаты численного моделирования показали, что добавление к газогидрату

дополнительных компонентов в виде воды и рапсового масла приводит к неравномерному распределению температур внутри слоя и росту градиентов температуры. Сформулирован вывод о том, что процессами тепломассопереноса в слое гидрата можно управлять за счет компонентного состава и соответственно интенсифицировать процессы диспергирования и микровзрыва на границе раздела компонентов.

Заключение

Зажигание исследуемых топлив включало несколько этапов. Горение гидрата метана характеризуется более высокими временами задержки зажигания и длительности горения по сравнению с рапсовым маслом. Разработана математическая модель тепломассопереноса для прогнозирования характеристик физико-химических процессов в камере сгорания с композиционным топливом. Установлено неравномерное распределение температур внутри слоя и рост градиентов температуры при добавлении в состав гидрата дополнительных компонентов.

Список литературы

- [1] Cui G., Guo T., Xie K., Dong Z., Wu D., Yin J., Li Z. Combustion experiment and numerical simulation of methane hydrate sediment under different airflow environments // *Fuel*. 2023. V. 333. Iss. 126560.
- [2] Cui G., Dong Z., Wang S., Xing X., Shan T., Li Z. Effect of the water on the flame characteristics of methane hydrate combustion // *Appl. Energy*. 2020. V. 259. 114205.