

4. Пашкин И. А. и др. Компенсация реактивной мощности в энергосистеме путём применения статического синхронного компенсатора реактивной мощности СТАТКОМ // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2022. – № 3-1. – С. 31.

**УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ БЕДНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ
ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНОВОГО ГАЗОГИДРАТА**

Нагибин П.С.

Научный руководитель доцент Н.Е. Шлегель

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Введение. Газовый гидрат представляет собой твердое кристаллическое вещество, в котором молекулы газа захвачены молекулами воды в ледоподобном каркасе с водородными связями [1]. Хранение и транспортировка природного газа в виде гидрата обладает высокой плотностью и при этом безопасными, надежными, экологичными и экономичными преимуществами [2]. Предполагается, что гидрат природного газа потенциально может стать экологически чистой энергетической альтернативой ископаемому топливу из-за его высокой плотности энергии [3]. Однако сжигание гидрата в чистом виде является не эффективным, за счет множественных фазовых изменений. Предложена метод совместного сжигания газового гидрата совместно с низкосортными отходами угольной промышленности. Такой метод позволит снизить время задержки зажигания, за счет чего обеспечится большая полнота выгорания такого топлива. Учитывая высокий энергетический и экономический потенциалы данного метода, следует провести комплексное исследование характеристик совместного сжигания газового гидрата с отходами угольной промышленности.

Настоящая работа направлена на экспериментальное исследование характеристик совместного сжигания гидрата и отходов угольной промышленности, а также на сравнение гидратного газа с чистым метаном.

Экспериментальное исследование. Схема экспериментального стенда, используемого для определения характеристик совместного сжигания гидрата и отходов угольной промышленности, представлена на рисунке 1. В качестве отходов угольной промышленности использовался шлам коксующегося каменного угля. Помимо угольного шлама использовался коксующийся каменный уголь.

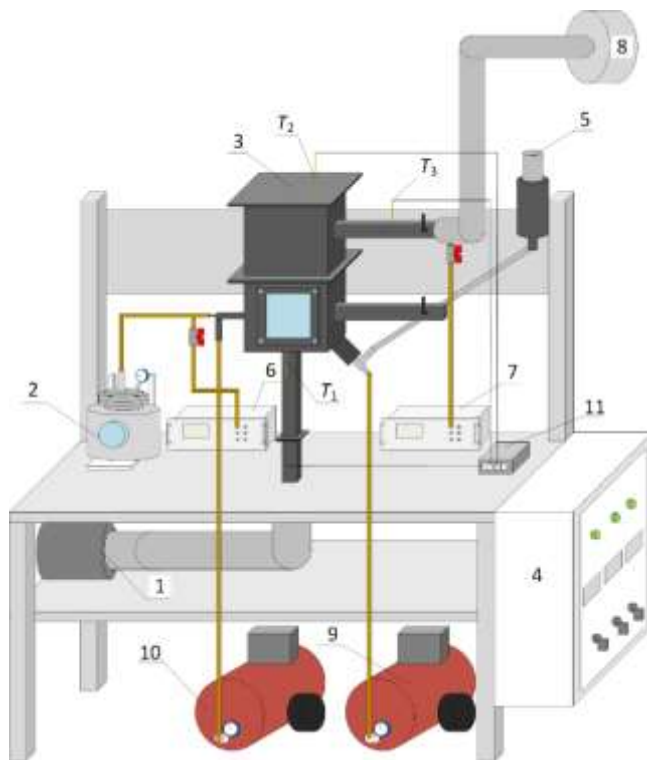


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – дутьевой вентилятор; 2 – блок диссоциации; 3 – камера сгорания; 4 – щит управления; 5 – емкость пылевидного топлива с вибромотором; 6 и 7 – газоанализаторы; 8 – дымосос; 9 и 10 – компрессоры; 11 – измерительный преобразователь; T1, T2 и T3 – места установки термопар

На рисунке 2 представлены значения температур в камере сгорания при совместном сжигании метана и гидратного газа с угольным шламом и углем. Анализ экспериментальных данных позволил установить, что температура факела гидратного газа ниже, чем у метана практически 5-10 %. Такой эффект обусловлен наличием водяного пара в топливовоздушной смеси, на нагрев которого уходит часть тепловой энергии. Кратковременное повышение температуры до 800 °С обусловлено концентрированием факела на рабочем спае термопары.

При дальнейшем увеличении расхода газа точка с максимальной температурой смещалась ближе к стенке камеры сгорания. Такой эффект обусловлен смещением факела горения от горелочного устройства практически на 30-50 мм. Рост температур T_2 и T_3 обусловлен тем, что в начальный момент времени камера сгорания имела температуру около 22 °С и дымовые газы затрачивали теплоту на ее прогрев. Исследование характеристик сжигания угля совместно с метаном и гидратным газом показало, что использование гидратного газа в качестве факела подсветки эффективнее метана. Это объясняется тем, что частицы угольной пыли в факеле гидратного газа зажигаются быстрее за счет большей скорости газовой смеси. Большая скорость газовой смеси достигается за счет повышения давления водяного пара. Резкое повышение температур в верхней части камеры сгорания на графике обусловлено увеличением длины факела и смещением его в сторону верхней части камеры сгорания. Анализ экспериментальных данных по исследованию характеристик сжигания угольного шлама совместно с метаном и гидратным газом показал, что использование гидратного газа в качестве факела подсветки так же эффективнее метана. Однако использование угольного шлама дает меньший прирост температур за счет его меньшей теплотворной способности.

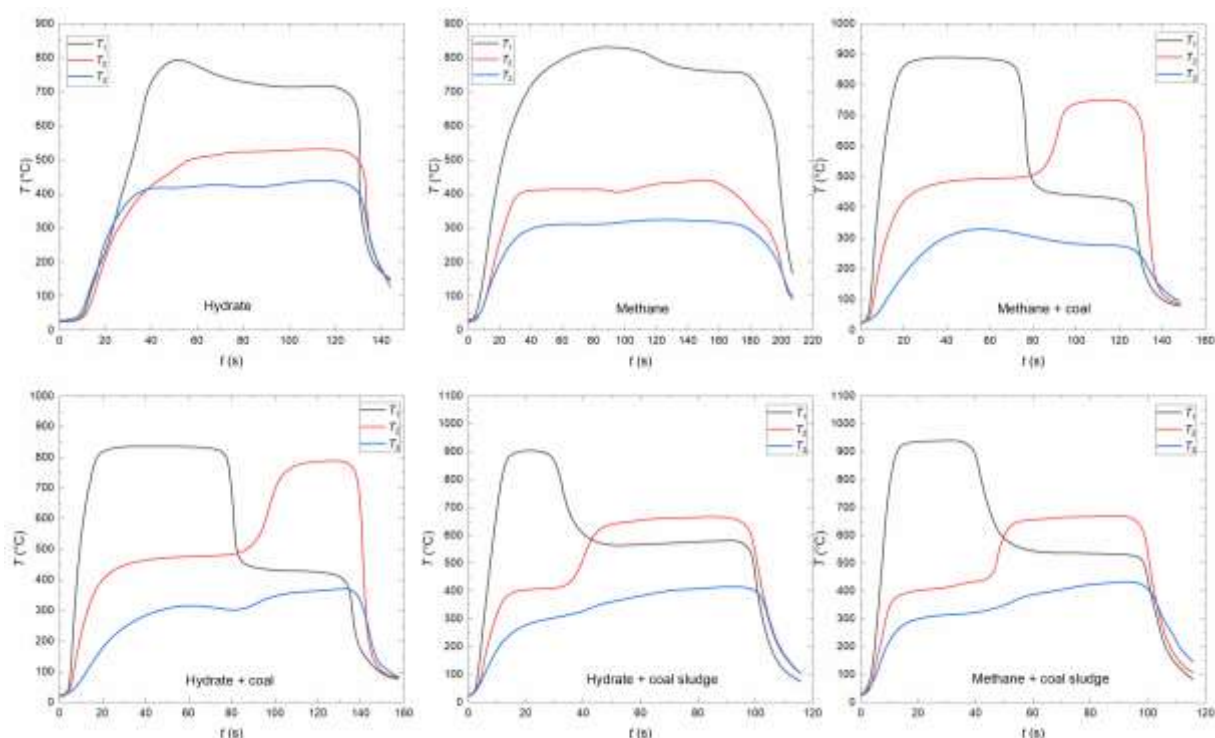


Рис. 2. Значение температур в камере сгорания при совместном сжигании метана и гидратного газа с угольным шламом и углем: T_1 – температура факела горения; T_2 – температура в верхней части камеры сгорания; T_3 – температура отходящих дымовых газов.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований позволили установить параметры расхода газа и инжекционного воздуха для устойчивого и стабильного горения гидратного газа совместно с угольной пылью или угольным шламом. Оптимальный расход гидратного газа составил около 0.7 м³/h, пылевидного топлива около 2.4 kg/h. При этом расход инжекционного воздуха составлял около 240 м³/h. Поддержание таких расходов позволяло добиться стабильного горения гидратного газа при его моносжигании, а также при совместном сжигании с твердыми топливами. Установлено, что при добавлении угольного шлама и угля увеличивается протяженность пламенной зоны горения на 31.6 и 52.6 %, соответственно. Такой эффект позволяет добиться улучшения теплопереноса между зоной горения и поверхностями нагрева, что и видно из результатов экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИ ТПУ, проект Приоритет-2030-ЭБ-017-202-2024.

Литература

1. Zhao Y. et al. Permeability properties of natural gas hydrate-bearing sediments considering dynamic stress coupling: A comprehensive experimental investigation // *Energy*. – 2023. – Т. 283. – С. 129214.
2. Zhang Y., Taboada-Serrano P. Interfacial effects on the nucleation probability of gas hydrates in porous media // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2024. – Т. 129. – С. 568-578.
3. Cui G. et al. Effect of the water on the flame characteristics of methane hydrate combustion // *Applied Energy*. – 2020. – Т. 259. – С. 114205.