

# СВЕТОИНДУЦИРОВАННАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

П.П. Ткаченко

Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП, группа 5Б4В

Современный прогресс в технологиях привел ученых к четкому пониманию того, что водород является идеальным топливом с энергетической и экологической точки зрения. Он имеет самую высокую теплотворную способность на единицу массы (142 МДж/кг) вместе с образованием обычной воды в результате сгорания. Энергосистемы, использующие водород в качестве топлива, являются явным будущим тепловой энергетики [1].

Существуют различные термохимические процессы, которые выделяют водород из ископаемого топлива (например, паровой риформинг, автотермический риформинг и термическое частичное окисление), а также производство водорода из биомассы с помощью термохимических и биологических процессов. Типичным продуктом термохимических подходов является смесь CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, водяной пар, метан и другие газы, некоторые из которых могут сжигаться дополнительно при производстве тепла [2]. Соотношение компонентов продуктов конверсии углеводородного топлива сильно зависит от физических условий газификации.

Однако процессы термического разложения в наибольшей степени связаны с непрерывной переработкой сырых углеводородов при высоких температурах ( $\geq 1200$  К) и высоким давлением (до 80 бар) и, следовательно, имеют существенную угрозу пожара и взрыва. Другим ограничением традиционных методов газовой обработки является их низкая пригодность для составов высоковязких отходов топлива (таких как смола), которые становятся проблематичными отходами. С другой стороны, газификация желательна именно для таких материалов, что позволяет осуществлять их превращение в подходящую для практического применения форму [3].

В рамках выполненной работы были получены результаты над светоиндуцированной конверсией отработанной водно-угольной суспензии, легированной отходами нефтехимии (органоводоугольные топлива – ОВУТ), для ее дальнейшего сгорания в нагревателях с выходом газа. Даже первые попытки использования лазерных импульсов для газификации ОВУТ демонстрируют достаточно хороший уровень конверсионной эффективности вязких отходов в синтез-газ [4]. Такой подход позволяет эффективно утилизировать многочисленные отходы самым экологичным способом. Он позволяет плучить вторичное топливо в подходящем фазовом состоянии, которое подходит для большинства промышленных котлов без модификаций. Процесс происходил в нормальных условиях, и, следовательно, предлагаемый подход показывает принципиально более высокий уровень безопасности, чем традиционные методы «горячего» преобразования топлива. В отличие от каталитических методов, для него

не нужны дорогостоящие катализаторы или высокотехнологичные конструкции (например, топливные элементы).

Несмотря на то, что в представленных опытах использовался лазер, для применения аналогичной установки в промышленности нет необходимости в использовании именно лазера. Все, что необходимо для совершения данного процесса, это тепловой эффект мощного импульсного пучка энергии, источником которого могут быть дешевые некогерентные световые приборы (например, светодиоды).

Образец топлива для газификации представлял собой композицию фильтровального осадка из угольного топлива (89 мас. %) и отработанного мазута (10 мас.%). Фильтровальная лепешка содержит сама по себе большое количество воды (40 мас. % – вода, до 36 мас. % – горючие летучие вещества, а весь остаток – твердый уголь [1]). В результате была получена смесь различных углеводородов с 40% массы воды. Первоначальный вес образца топлива всегда составлял около 0,11 г, что контролировалось электронными весами.

Лазер работал в импульсном режиме, для предотвращения интенсивного регулярного нагрева образца вместе с очень высокой скоростью подачи тепла (что является одним из основных требований к эффективному производству синтез-газа). Энергия импульса составляла около 40 мДж, а длительность импульса – 10 нс. Частота повторения импульсов составляла 3-5 Гц, поэтому средняя мощность светового излучения была на уровне 0,12-0,2 Вт. Программное обеспечение привода позволяет генерировать точное количество импульсов, поэтому контроль веса в процессе конверсии топлива сопровождался точным контролем поглощенной энергии.

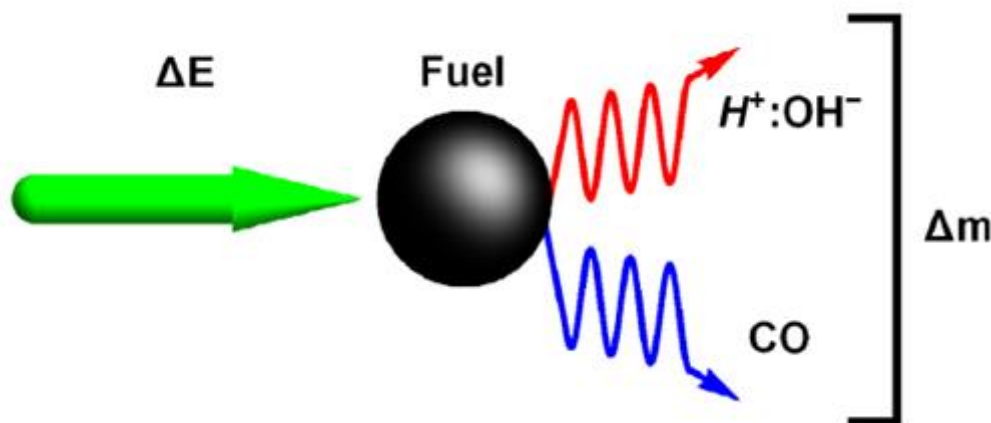


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента.

Лазерный импульс (зеленая стрелка) инициирует газификацию определенной части топлива (с весом  $\Delta m$ ), производя смесь газов и пара

Аналитические весы позволяют проводить реальное измерение массы образца с точностью до 10 мг. Этого достаточно для достижения поставленных целей, кроме того, такой уровень чувствительности не приводит к ошибкам обусловленным изменением давления газа внутри камеры равновесия.

Для проведения экспериментов по результатам предыдущих опытов были выбраны 2 состава суспензии:

Смесь 1: КЕК Г – 60 %, вода – 40%.

Смесь 2: Кокс – 60 %, вода – 40%.

Входящий лазерный импульс инициирует испарение воды, которая присутствует внутри тонкого слоя топлива внутри области пятна облучения вместе с углем. Отражение света, а также обратное рассеяние очень малы из-за структуры образца (мелкий угольный порошок, заполненный водомасляной эмульсией). В данном случае интенсивность лазерного импульса больше  $0,2 \text{ Дж/см}^2$ , т.е. она достаточна для преодоления порога абляции органических материалов. Объем испаряемой части топливной композиции в режиме наносекундных импульсов зависит от энергии импульса и коэффициента поглощения света. Результаты эксперимента показаны на рис. 2.

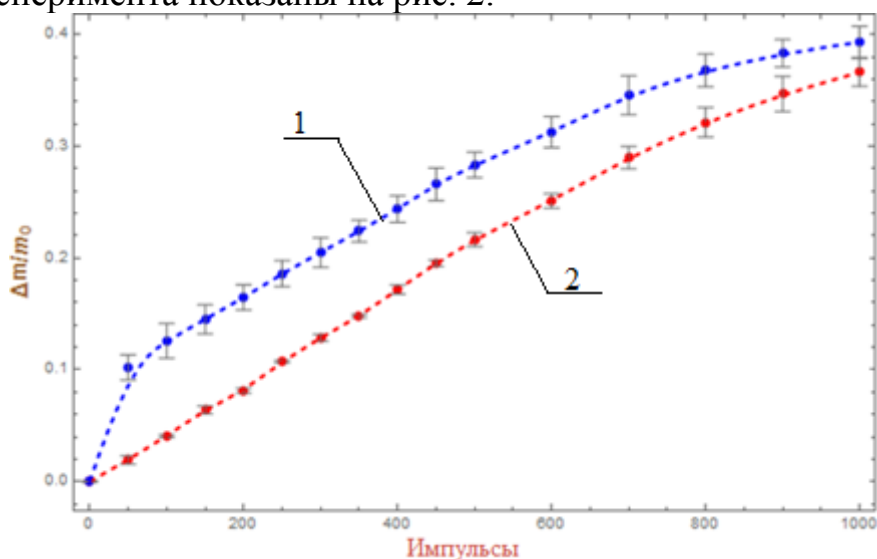


Рис. 2. Зависимость изменения массы образцов от количества отстрелянных импульсов: 1 – кокс +40% H<sub>2</sub>O; 2 – КЕК Г + 40% H<sub>2</sub>O

Видно, что первые пятьдесят импульсов дают сильное испарение угля (синяя кривая на рис.). Потом скорость газификации замедляется. Общее количество испаренного топлива составляет около 40% после 1000 лазерных импульсов. Такой результат показывает высокую эффективность для первых опытов без оптимизации условий эксперимента. Кривая 2 на рис. 2 показывает изменение эффективности импульса для ОВУТ (нормированное на его начальный вес) на тысячу импульсов. Из графика видно, что существует пороговое значение после поглощения образцом 1000 импульсов, после чего происходит резкое снижение газифицируемой части образца. Эффективность газификации, по-видимому, снижается с числом поглощенных импульсов, и ее оптимизация является актуальной задачей для будущих исследований.

На рис. 3 видно, что процесс прогрева поверхности образцов проходил практически равномерно. Отклонение красной кривой, соответствующей «Смеси 1», от линейного распределения свидетельствует о полном испарении воды с поверхности пятна облучения после 800 импульсов и начале процесса воспламенения.

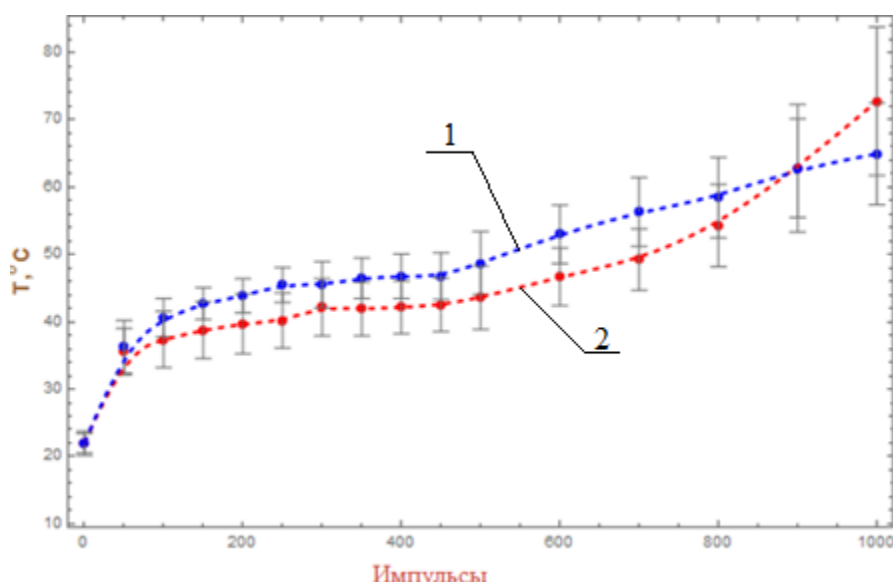


Рис. 3. Зависимость температуры на поверхности образцов от количества отстрелянных импульсов: 1 – кокс +40% H<sub>2</sub>O; 2 – КЕК Г + 40% H<sub>2</sub>O

В ходе работы была продемонстрирована техника топливной газификации, основанная на световом облучении исходной углеводородной композиции отходов. Представленные результаты показывают хорошую степень испарения отходов вместе с очевидным образованием синтез-газа. Сильное изменение массы «Смеси 2» в сравнении со «Смесью 1» может быть вызвано «выбиванием» части образца при обстреле лазером, из-за более мелких частиц и меньшей смачиваемости их поверхности. В отличие от каталитических методов, представленный подход может быть реализован без дорогостоящих расходных материалов и устройств.

Дальнейшие исследования выявят весь потенциал предлагаемого подхода.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Iegorov R, Valliulin T, Strizhak P. The effect of the petrochemicals at the ignition of the coal-water slurry droplet. *App Therm Eng* 2016;106.
2. Fulcheri L, Schwob Y. From methane to hydrogen, carbon black and water. *Int J Hydrogen Energy* 1995;20(3):197–202
3. Glushkov D.O., Shabardin D.P., Strizhak P.A., Vershinina K.Yu. Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition // *Fuel Processing Technology*. 2016. V. 143. P. 60–68.
4. Valiullin T.R., Strizhak P.A., Shevyrev S.A. Low temperature combustion of organic coal-water fuel droplets containing petrochemicals while soaring in a combustion chamber model // *Thermal Science - Online First*. 10.2298/TSCI151215221V.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой АТП ЭНИН ТПУ.