Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Отделение энергетики, машиностроения, механики
и процессов управления РАН

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет

## XI Всероссийская конференция
## с международным участием

# ГОРЕНИЕ ТОПЛИВА:
# ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ПРИЛОЖЕНИЯ

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

9–12 ноября 2021 года
Новосибирск

**Спонсор ООО «ЗиО-КОТЭС»**

**Горение топлива: теория, эксперимент, приложения**: Сб. тезисов докладов XI Всерос. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 9–12 ноября 2021 г. – Новосибирск: ИТ СО РАН, 2021. – 172 с.

ISBN 978-5-89017-069-9

Сборник содержит тезисы докладов XI Всероссийской конференции с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения». Научная тематика конференции охватывает широкий спектр направлений фундаментальных и прикладных исследований, связанных с изучением процессов горения различных видов топлива, применительно к современным и перспективным технологиям производства энергии и двигателестроения.

© Институт теплофизики СО РАН, 2021

**Оргкомитет**

**Сопредседатели:**
Алексеенко С.В., академик РАН, ИТ СО РАН
Маркович Д.М., академик РАН, ИТ СО РАН

**Заместители председателя:**
Терехов В.В., д.ф.-м.н., ИТ СО РАН
Шарыпов О.В., д.ф.-м.н., ИТ СО РАН

**Ученые секретари:**
Бутаков Е.Б., к.т.н., ИТ СО РАН
Копьев Е.П., к.т.н., ИТ СО РАН

**Члены оргкомитета:**
Ануфриев И.С., д.т.н., ИТ СО РАН
Васильев А.А., д.ф.-м.н., ИГиЛ СО РАН
Дулин В.М., д.ф.-м.н., ИТ СО РАН
Козлов В.В., д.ф.-м.н., ИТПМ СО РАН
Лукашов В.В., к.т.н., ИТ СО РАН
Перепечко Л.Н., к.ф.-м.н., ИТ СО РАН
Прууэл Э.Р., д.ф.-м.н., ИГиЛ СО РАН
Терехов В.И., д.т.н., ИТ СО РАН
Цепенок А.И., к.т.н., ООО «ЗиО-КОТЭС»
Шмаков А.Г., к.х.н., ИХКГ СО РАН
Шторк С.И., д.ф.-м.н., ИТ СО РАН

**Программный комитет**
Батаев А.А., д.т.н., НГТУ, Новосибирск
Batmunkh S., member of Mong.Acad. of Sci., Mongolian University of Sci. and Technol., Ulaanbaatar, Mongolia
Волков Э.П., академик РАН, ОАО «ЭНИН», Москва
Дектерев А.А., к.т.н., ИТ СО РАН, Красноярск
Елистратов С.Л., д.т.н., НГТУ, Новосибирск
Ждан С.А., д.ф.-м.н., ИГиЛ СО РАН, Новосибирск
Заворин А.С., д.т.н., ТПУ, Томск
Зарко В.Е., д.ф.-м.н., ИХКГ СО РАН, Новосибирск
Иноземцев А.А., чл.-корр. РАН, АО «ОДК-Авиадвигатель», Пермь
Исмагилов З.Р., академик РАН, ФИЦ УУХ СО РАН, Кемерово
Кавтарадзе Р.З., д.т.н., МГТУ, Москва

УДК 534.222.2

# ДЕТОНАЦИОННЫЙ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ СИЛЬНО ПЕРЕГРЕТЫМ ВОДЯНЫМ ПАРОМ

**Фролов С.М., Сметанюк В.А., Садыков И.А., Силантьев А.С., Шамшин И.О., Аксенов В.С., Авдеев К.А., Фролов Ф.С.**

Федеральный исследовательский центр химической физики
им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва

В [1, 2] нами предложен новый (детонационный) способ получения сильно перегретого водяного пара (СПП) при атмосферном давлении. Такой пар образуется в импульсно-детонационном пароперегревателе (ИДП) за счет циклической детонации тройной газовой смеси горючее–окислитель–водяной пар, причем СПП дополнительно получается, как продукт детонации горючего. В качестве горючего может использоваться водород, энергетический газ (CO + H2), природный газ, пропан и др., а в качестве окислителя – кислород, воздух или обогащенный кислородом воздух. В [3] показано, что циклическая детонация тройных смесей пропан–кислород–водяной пар и метан–кислород–водяной пар позволяет получать СПП с температурой выше 2000°C при атмосферном давлении, причем продукты детонации стехиометрической тройной смеси могут состоять в основном из СПП (80%) и CO2 (20%). При обработке промышленных, коммунальных и токсичных отходов (например, угольных отходов, лигнина, древесных опилок, пищевых отходов, летучей золы и др.) таким сильно перегретым водяным паром можно добиться полной конверсии органической составляющей отходов в газовую смесь CO и H2 [5], которую в дальнейшем можно использовать как в качестве энергетического газа для ИДП и производства тепла/электричества, так и в качестве сырья для производства синтетических моторных топлив (например, из отходов угольной промышленности). В связи с высокой привлекательностью рассматриваемой идеи, встает вопрос о ее практической реализации.

В данной сообщении приведены результаты экспериментов по газификации гомогенных органических отходов (отходы кофейных машин, древесные опилки, Байкальский лигнин) сильно перегретым водяным паром, полученным детонационным способом. Разработана и испытана лабораторная установка (ЛУ) (рис. 1) с газификацией до 11 кг/час отходов в горючий газ. Максимальная рабочая частота ИДП 5 Гц. В лабораторной установке определены параметрические области существования детонации для тройных смесей метан–кислород–водяной пар при разных коэффициентах избытка горючего и разбавлениях водяным паром. Максимальное содержание водяного пара, при котором возможна детонация, оказалось близким к 40%(об.). Степень газификации отходов близка к 100% (минеральный остаток на уровне 3–4%). Содержание горючего газа в продуктах газификации: до 75%.

Кроме лабораторной установки разработана и изготовлена экспериментальная установка по газификации отходов с производительностью до 100 кг/час (рис. 2а), работа на которой начнется в ближайшее время. Разработке установки предшествовали многовариантные трехмерные газодинамические расчеты двухфазного течения в проточном реакторе, предназначенном для газификации/обезвреживания отходов с помощью СПП, получаемого детонационным способом. В окончательном варианте установки использована схема подачи сильно перегретого водяного пара в сферический реактор двумя встречными импульсно-периодическими сверхзвуковыми струями (рис. 2б). Вместе со струями в реактор выбрасываются порции частиц отходов, подаваемые дозаторами частиц. Частицы отходов, поступив в реактор, вовлекаются в мощное вихревое движение. Циркулируя в реакторе, частицы отходов периодически попадают в высокотемпературные зоны в центральной области реактора, где происходит их термическая деструкция и газификация. Периодические сильные ударные волны, сопровождающие подачу сверхзвуковых струй СПП, предотвращают агломерацию частиц, циркулирующих в реакторе, а также их седиментацию и стратификацию в поле силы тяжести. По истечении начального переходного периода в реакторе устанавливается квазистационарный рабочий процесс, при котором все средние параметры (давление, температура СПП и др.) остаются постоянными: с одной стороны, с каждым детонационным выстрелом в реактор поступают новые порции СПП и частиц, а с другой стороны, из реактора через выхлопной патрубок непрерывно вытекают продукты газификации и

выносятся частицы. Задача состояла в подборе таких значений определяющих параметров, которые обеспечат продолжительное пребывание частиц в вихревых зонах с температурой выше 2000°C. С помощью расчетов получено представление о структуре течения в реакторе и определены основные характеристики рабочего процесса. На рис. 2в показаны основные элементы экспериментальной установки: ИДП и реактор.

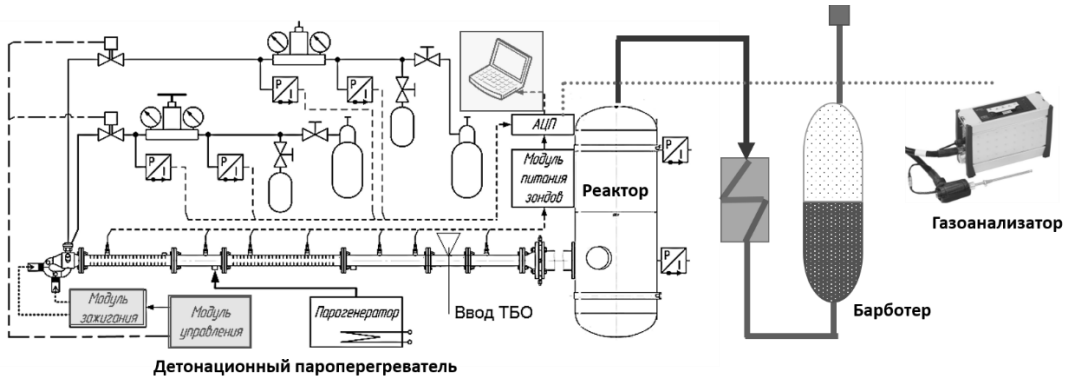
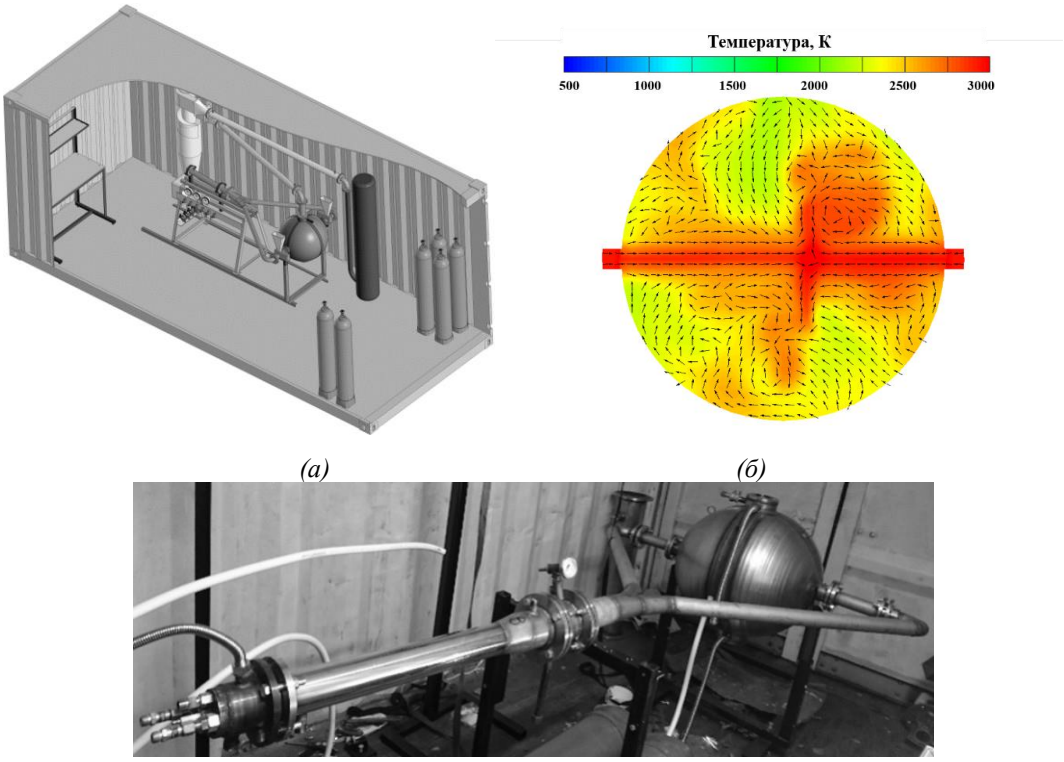



*Рис. 1 Лабораторная установка.*




*(а)* *(б)*

*(с)*

*Рис. 2 Экспериментальная установка: (а) общий вид, (б) детонационный пароперегреватель и реактор.*

*Работа частично выполнена при поддержке Минобрнауки России по госконтракту № 05.607.21.0304 (идентификатор контракта RFMEFI60719X0304).*

## Список литературы

1. Frolov S.M., Smetanyuk V.A., Avdeev K.A., Nabatnikov S.A. Patent of Russian Federation No. 2686138 dated 24.04.2019. Priority dated 26.02.2018.
2. Frolov S.M., Smetanyuk V.A., Nabatnikov S.A. Patent of Russian Federation No. 2683751 dated 01.04.2019. Priority dated 24.05.2018.
3. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Shamshin I. O., Sadykov I. A., Koval' A. S., Frolov F. S. // Production of highly superheated steam by cyclic detonations of propane and methane-steam mixtures with oxygen for waste gasification. Applied Thermal Engineering, 2021, Vol. 183, Part 1, p. 116195. doi: 10.1016/j.applthermaleng. 2020.116195.