УДК 662.61

НОВЫЕ УСТАНОВКИ ИТПМ СО РАН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Баев В.К.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского Отделения РАН,
г. Новосибирск

Горение твердых топлив в ИТПМ СО РАН не является предметом стабильного интереса вследствие лишь частичного соответствия основным направлениям фундаментальных исследованиям института и стабильного интереса со стороны предприятий топливо-энергетической отрасли. Поэтому исследования ведутся в основном в инициативном порядке, исходя из актуальности общеизвестных проблем использовании твердых топлив органического происхождения, накопленного опыта в схемах организации процессов горения с учетом возможности реализации инноваций в энергопреобразующих устройствах различного назначения.

Изложенные выше обстоятельства и определили структуру экспериментальной базы института в специфической области исследования горения твердых топлив.

Основные установки объединены территориально и функционально в комплексный стенд, схема которого представлена на рис. 1.

В состав стенда входят:

I. Установка с регенератором периодического действия и жидкостно-сорбционной очисткой уходящих газов.

II. Термохимический реактор роторного типа.

III. Имитатор теплосиловой установки.

IV. Эжекторный дожигатель.

Стенд оборудован воздушной системой (с давлением до 16 ат), системой водоснабжения, системой электропитания, системой вентиляции и двумя системами выхлопа в атмосферу.

Схема установки I с регенератором периодического действия представлена на рис. 2.

Она состоит из вертикально расположенной камеры сгорания с прозрачными для теплового излучения стенками, керамического регенератора, эксгаустерной

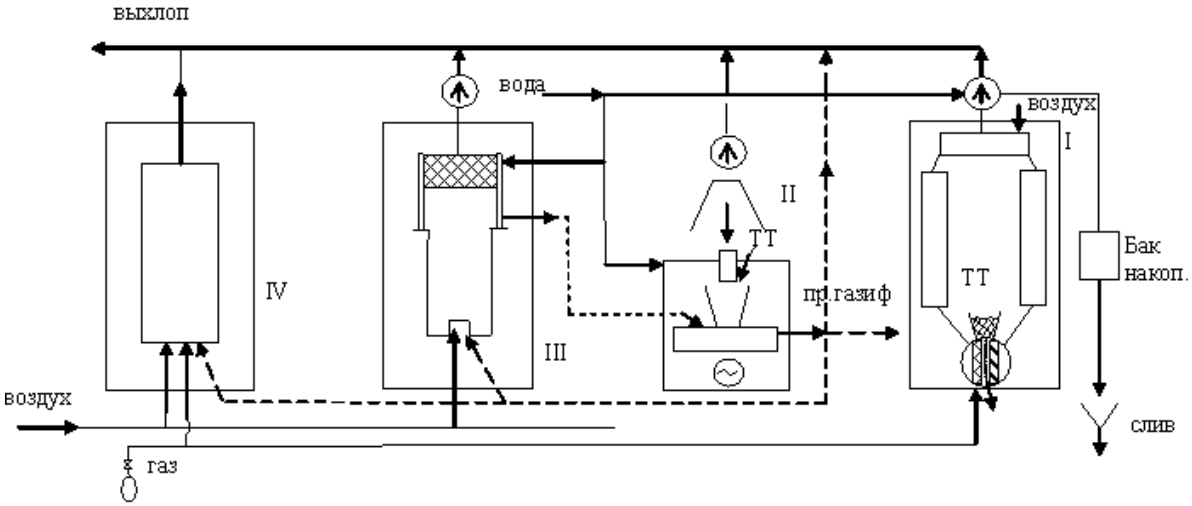

Рис. 1 Схема комплексного стенда

системы, совмещенной с жидкостно-сорбционной очисткой продуктов сгорания и узла периодического переключения направления потока.

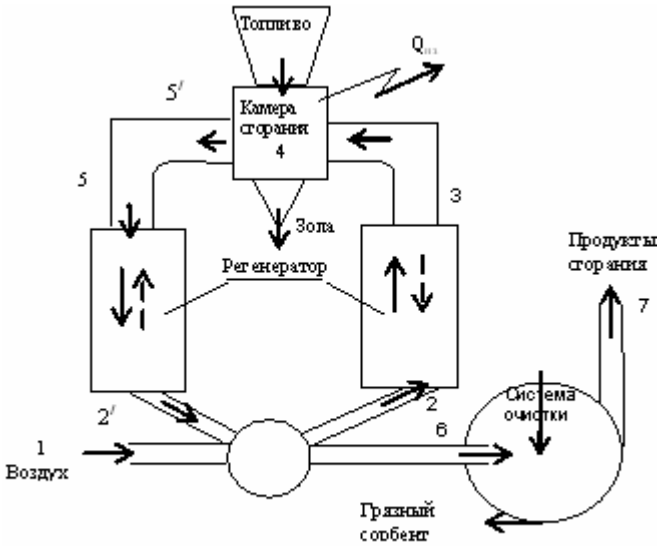

Рис. 2 Схема установки

Процесс в камере сгорания организован как горение (твердого топлива) в падающем тонком слое («горящая решетка») между проницаемыми перегородками, расположенными по хордам цилиндрической кварцевой трубы ∅ 100мм.

Испытания проведены с перегородками из ячеисто-пористого Ni и из материала изготовленного в ОСМ ТМЦ СО РАН методом СВС из Ni-Al интерметаллида. В качестве топлив использованы древесный и каменный угли, опилки, пропан-бутан.

В качестве регенератора использован керамический хонейкомб размерами 100x100x300мм (две секции) с поперечными размерами каналов 10×10мм.

В качестве эксгаустерной системы использован двухступенчатый вентилятор с пористыми роторами и впрыском воды.

Пример записи изменения температур (номера кривых соответствуют сечениям на рис. 2) при горении древесного угля и при изменении частоты переключений направления потока приведен на рис. 3, а фотография камеры сгорания – на рис. 4.

Испытания показали работоспособность всей системы. При этом в излучение из камеры сгорания выходило 35-50% от теплотворной способности топлива. А температура газов на выходе не превышала 100-110°C при практически полном сгорании. Остальное тепло уходило из установки через неизолированные

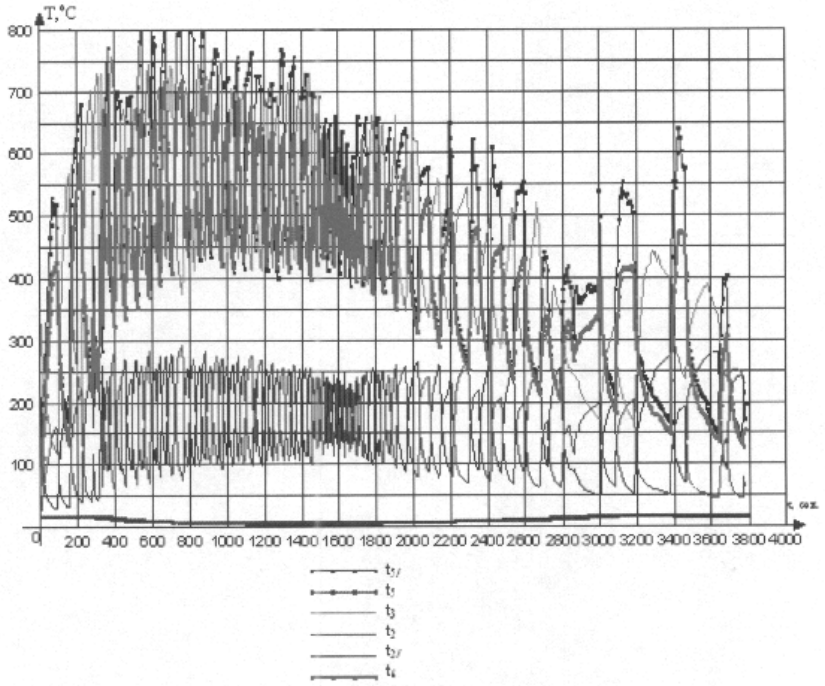

Рис. 3 Температуры, измеренные на установке по схеме рис. 2

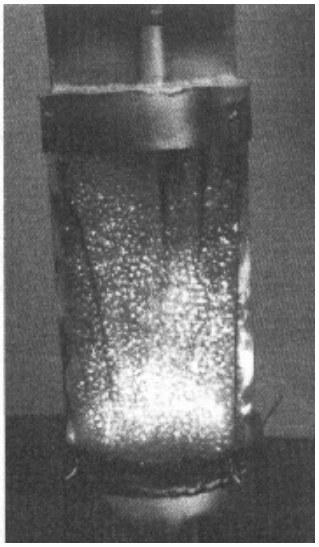

Рис. 4 Фотография прозрачной камеры сгорания при работе на каменном угле

поверхности. Тепловая мощность не превышала в испытаниях 20 кВт.

Одним из интересных результатов является увеличение (почти в 2 раза) скорости сгорания угля при использовании в качестве ограждения СВС материала вследствие повышения температуры в слое.

Перегородки из ячеисто-пористого Ni частично прозрачны для излучения, но Ni оказался малопригодным из-за плохой стойкости при высоких температурах.

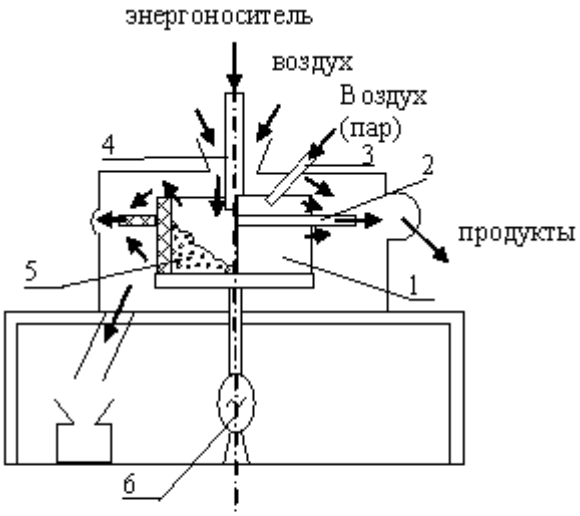

Рис. 5 Схема установки II

1 Ротор 2. Воротник
3. Воздушное (паровое) сопло
4. Термогенератор
5. Обрабатываемый материал
6. Электропривод

Следует отметить также, что использованный способ организации горения не требует сильного дробления угля, а с увеличением толщины реагирующего слоя позволяет реализовать режимы газификации с высоким кпд благодаря наличия системы тепловой регенерации.

Принципиальная схема установки II (роторного термохимического реактора) приведена на рис. 5.

Ротор представляет собой отрезок трубы внешнем диаметром ∅ 240 мм с толщиной стенок ~20мм, изготовленной из пористого Ni-Al интерметаллида методом СВС в ОСМ ТНЦ СО РАН. Труба установлена на чугунный диск, имеющий ось, через которую ротор связан с электроприводом.

Для турбинного привода и создания картины течения, отображенной стрелками на рис. 5, в средней части ротора установлен воротник из ячеисто-пористого Ni, а воздушное (паровое) сопло вводится через верхнюю крышку и имеет возможность изменения положения и, соответственно, направления струи под различными углами к воротнику и цилиндрической части ротора.

Обрабатываемый материал засыпается сверху в ротор. По оси на его входе устанавливается термогенератор (струя газового топлива, либо плазматрон, либо радиационный нагреватель).

Газообразные продукты отводятся по улитке, а твердые частицы сбрасываются вниз через специальный канал.

На установке проведены лишь пробные эксперименты, подтвердившие ожидаемую картину течения, принципиальную работоспособность при горении древесных отходов и позволившие определить потребную мощность на привод во вращение (~20 Вт при числе оборотов ~ 1000 об/мин).

Принципиальная схема установки III (имитатор теплосиловой установки) представлена на рис. 6.

Установка имеет два варианта камеры сгорания – с прозрачной кварцевой стенкой ∅ 100 и с пористой трубой из Ni-Al интерметаллида ∅76/100 длиной до 600мм. Имеется возможность установки нескольких вариантов фронтовых устройств, в том числе при подаче сжатого воздуха через сопло, установленное на штанге, что позволяет его перемещать по оси камеры.

Выхлоп камеры направлен в воздухоохлаждаемый цилиндрический сосуд, частично заполненный теплоемкой набивкой, что позволяет иметь неохлаждаемый дымосос на период проведения эксперимента. Рубашка охлаждения может быть использована как парогенератор для подачи пара на другие установки как это показано на рис. 1.

В установке предполагается использовать и продукты газификации, которые получаются в установке II и проводить испытания различных способов организации их дожигания. В этом случае продукты газификации могут подводиться и через пористую стенку камеры сгорания.

При необходимости в упрощенном варианте установке III используется как парогенератор.

Установка IV (эжекторный дожигатель) повторяет конструктивно установку III без воздухоохлаждаемой выхлопной системы и имеет горизонтальное положение. Основное ее назначение – дожигание выхлопа из установок I и II, если они работают с недостатком окислителя. При этом используется сжатый воздух, как для организации горения, так и для транспорта продуктов сгорания в атмосферу.

Вместе с тем, эта установка позволяет проводить испытания и некоторых типов камер сгорания с увеличенной тепловой мощностью (до 100 и выше кВт).

Кроме комплексного стенда ИТПМ СО РАН располагает несколькими установками лабораторного масштаба на которых проводятся принципиальные исследования физического характера применительно к использованию твердых топлив.

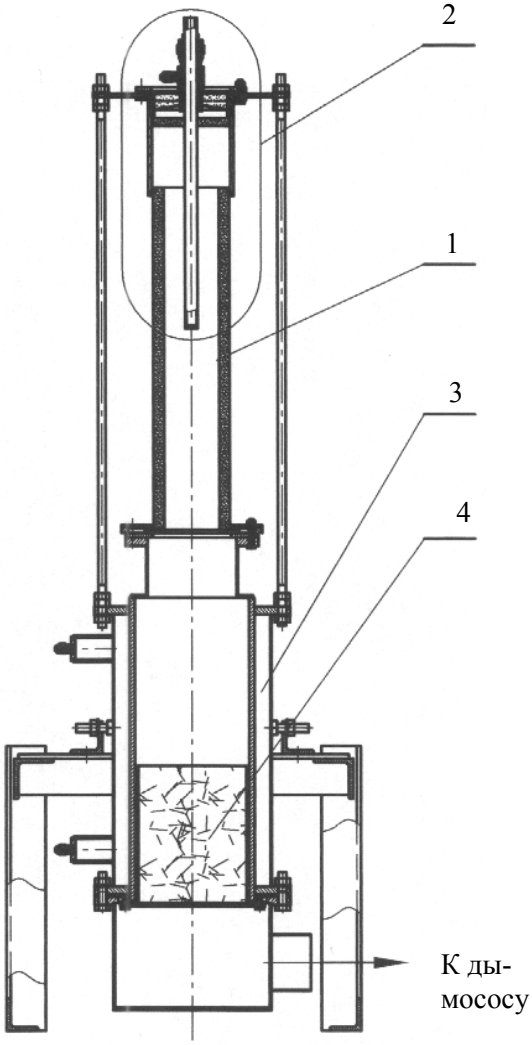

Рис. 6 Схема установки III
1 – пористая стенка камеры сгорания
2 – фронтовое устройство

Наиболее интересной в этом отношении является установка для исследования горения в прямоугольной полости обтекаемой контрнаправленными потоками.

Некоторые результаты по горению газа в этой установке были представлены в [1].

Фотография установки и конфигурация проточной части показаны на рис. 7 и 8. Особенностью процесса является высокий уровень пульсаций скорости и, соответственно, коэффициентов турбулентного обмена в полости при относительно низкой скорости направленного течения. При горении твердого топлива в (цилиндрическом) слое по сути дела реализуется режим периодического изменения направления течения по отношению к закрепленной частице топлива. Это приводит к эффективному выгоранию при возможности поперечного движения топлива по отношению к направлению обтекающих полость потоков. Работа установки под разрежением позволяет также осуществить при необходимости подвод части воздуха в слой топлива.

На рис. 9 представлены некоторые результаты первых исследований такого рода в обобщенном в соответствии с [2] виде (k_3 – скорость потери массы кг/м^2 сек; r – размер тела м, u – скорость, м/сек; D – коэффициент диффузии м^2/сек).

Для горения угольного стержня ∅ 5 мм получено, что потери массы в 2 раза выше, чем при горении в ламинарном потоке со скоростью примерно равной скорости пульсаций в полости в изотермическом случае [3]. Причем для устойчивого горения стержня его температура поддерживалась электрическим подогревом.

Горение древесного угля, засыпанного в сетчатый цилиндр ∅ 20мм проходило с отмеченной на рис. 9 интенсивностью при температуре сетки500÷700°C и температуре горящего угля ~ 1000°C. Скорость потери массы k_3 отнесена к поверхности сетчатого цилиндра. В качестве определяющей скорости также была принята скорость пульсаций (~ 0, 25 от скорости обтекающего полость потока).

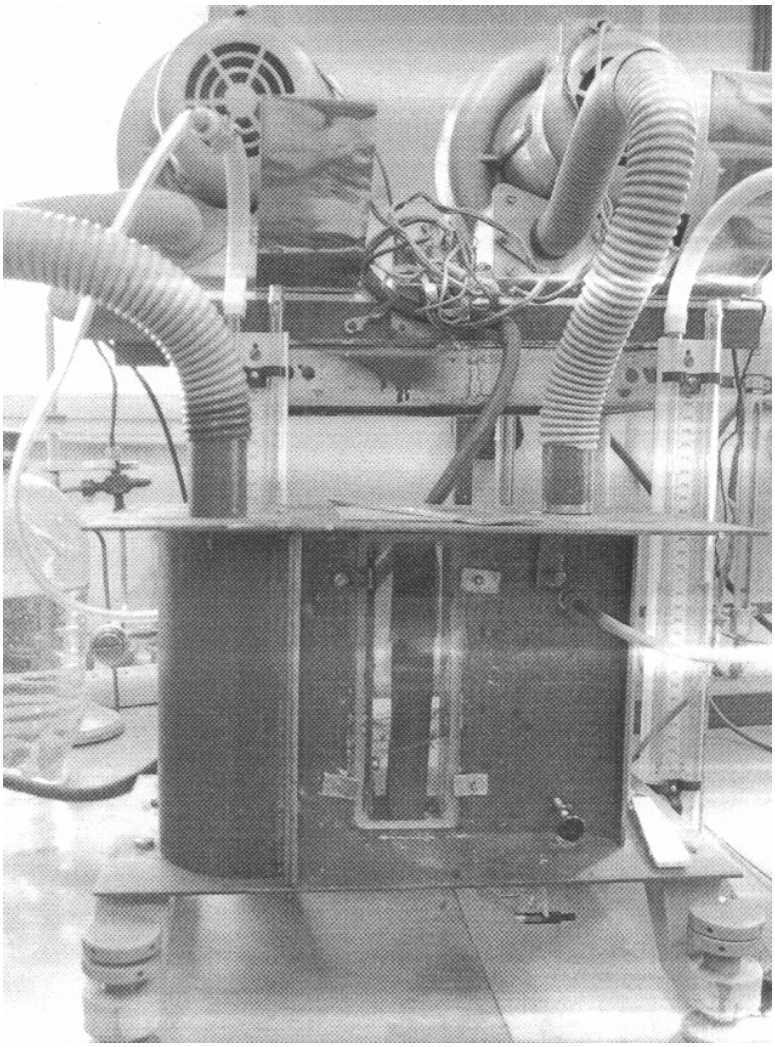

Рис. 7 Установка с контрнаправленными потоками

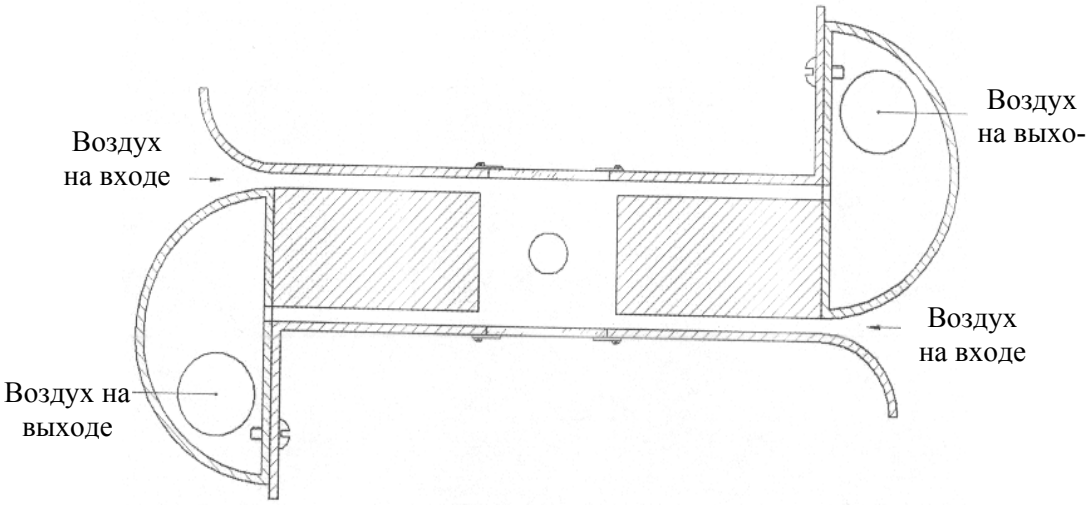

Рис. 8 Схема потоков

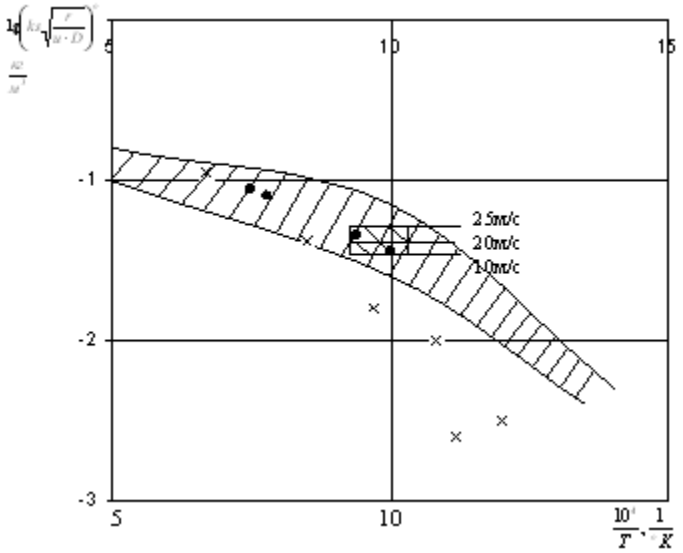

Рис. 9 Скорость горения углеводородных тел
• - стержень в установке; x – стержень при ламинарном обтекании; //// - область экспериментальных данных по горению электродного угля [4]$ xxxx – горение древесного угля в сетчатом цилиндре в установке

Таким образом в ИТПМ СО РАН создан комплекс установок, предназначенных в основном для проведения физических исследований горения и газификации различных органических в том числе и твердых топлив в перспективных с термогазодинамическом отношении схемах организации процессов.

Литература

1. Баев В.К., Одинцов Е.С., Чусов Д.В. Горение газовой струи в прямоугольной полости, обтекаемой контрнаправленными потоками// Доклад на XXIII Семинаре по струйным, отрывным и нестационарным течениям (с международным участием), Томск, 26-29 июня 2012 г.

2. Баев В.К. Приближенная теория сублимационного горения углеводородных частиц и некоторые экспериментальные результаты сжигания в проницаемых капсулах // Горение твердого топлива Сб. докладов VI Всероссийской конференции (с участием иностранных ученых) 8-10 ноября 2006 г., Новосибирск, 2006, изд. Институт теплофизики СО РАН, 2006г., стр. 28-35.

3. V.K. Baev, A.V. Nikulinskirh and D.V. Chusov Creation of conditions for the study of heat and mass exchange in low-velocity turbulent flow // Jut.Symp.Actual problems of physical hydrodinamics//Novosibirsk, Russia, 19-23 April 1999, Transaction inst of Thermophysics SBRAS, 1999, pat II, p II-11.

4. Н.В. Лавров. Физико-химические основы горения и газификации топлива. Металлургиздат, М., 1957