

УДК 66.096.5 : 628.474.383

## КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

© 2012 г. **А.Д. Симонов**<sup>1</sup>,  
**И.А. Федоров**<sup>2</sup>, **Ю.В. Дубинин**<sup>1</sup>,  
**Н.А. Языков**<sup>1</sup>, **В.А. Яковлев**<sup>1</sup>,  
**В.Н. Пармон**<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт катализа СО РАН, Новосибирск

<sup>2</sup> ООО «ТермоСофт-Сибирь», Новосибирск

<sup>3</sup> Новосибирский государственный университет

### Введение

Постоянный рост потребности в энергии в условиях удорожания всех видов традиционных топливных ресурсов — нефти, газа и угля — делает очень привлекательным вовлечение ранее не использовавшихся низкокачественных топлив, включая техногенные отходы и возобновляемую биомассу. При этом важно учитывать и экологический аспект — предотвращение выбросов в атмосферу токсичных веществ, особенно при использовании низкосортных твердых топлив.

Общим недостатком всех традиционных теплоэнергетических систем со слоевым или факельным сжиганием твердого топлива при температуре 1200—1600 °С как раз и является значительное, существенно превышающее санитарные нормы, загрязнение атмосферы токсичными продуктами сгорания (оксиды азота и серы, монооксид углерода, сажа, бензпирены).

Необходимость решения проблем сжигания низкокачественных топлив и защиты атмосферы от вредных примесей привела энергетиков к технологии сжигания топлив в кипящем слое инертного материала, способной решить эти проблемы одно-

временно [1]. Главное достоинство такой технологии — возможность снизить выбросы оксидов серы непосредственно при сжигании топлив за счет добавки к топливу известняка, поглощающего оксиды серы. Из других достоинств технологии следует отметить сравнительно низкую (800—1000 °С) и постоянную по объему температуру в зоне горения топлива. При этих температурах образуется незначительное количество «термических» оксидов азота, зола не расслаивается и не расплавляется, элементы оборудования не зашлаковываются и меньше подвержены коррозии. Обеспечиваются высокие коэффициенты теплоотдачи. Это позволяет уменьшить площадь теплопринимающих поверхностей и, соответственно, снизить капитальные затраты на сооружение котлов. В кипящем слое возможно сжигание низкосортных топлив и отходов с высоким содержанием золы и влаги. Применение низкосортных, более дешевых топлив снижает себестоимость производства тепла, а возможность использовать горючие отходы превращает топку с кипящим слоем в хорошее устройство для обезвреживания вредных отходов.

Тем не менее, сжигание топлив в кипящем слое инертного материала имеет ряд недостатков. Диапазон регулирования мощности топки крайне ограничен. Горение топлива происходит как в кипящем слое, так и в пространстве над слоем, что вынуждает увеличивать габариты котла. Остается высоким уровень загрязнения атмосферы вредными веществами. При температурах горения 800—1000 °С необходимо использовать жаропрочные материалы или футеровать стенки котлов. При этом резко возрастает время пуска котла, иногда — до нескольких суток. В кипящем слое твердого материала футеровка котла довольно быстро изнашивается. Остается высокой опасность

*Симонов А.Д.* — канд. хим. наук, вед. инженер Института катализа СО РАН. Тел.: (383) 332-96-29. E-mail: simonov@catalysis.ru

*Федоров И.А.* — ген. директор ООО «ТермоСофт-Сибирь». Тел.: (383) 348-63-05. E-mail: 101@ts-s.ru

*Дубинин Ю.В.* — мл. науч. сотрудник Института катализа СО РАН. Тел.: (383) 326-96-58. E-mail: dubinin@catalysis.ru

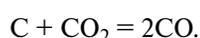
*Языков Н.А.* — канд. техн. наук того же института. Тел.: (383) 326-96-53. E-mail: yazykov@catalysis.ru

*Яковлев В.А.* — канд. хим. наук, зав. лаб. каталитических процессов переработки возобновляемого сырья того же института. Тел.: (383) 330-62-54. E-mail: yakovlev@catalysis.ru

*Пармон В.Н.* — академик, директор того же института. Тел.: (383) 330-82-69. E-mail: parmon@catalysis.ru

ошлаковывания слоя из-за возможного наличия в твердом топливе легкоплавких материалов, что вызывает накопление в слое крупных агломератов, для удаления которых требуется остановка котла.

Сжигание топлив в присутствии катализатора позволяет ликвидировать многие недостатки, свойственные технологиям сжигания топлив, как в факеле, так и в кипящем слое [2, 3]. Сжигание топлив в кипящем слое частиц катализатора дает возможность совмещать тепловыделение и теплоотвод в едином кипящем слое при соотношении воздух/топливо, близком к стехиометрическому. При этом сохраняются все отмеченные выше достоинства сжигания топлив в кипящем слое инертного материала. Кроме того, присутствие катализатора позволяет уменьшить температуру сжигания органического топлива до 350—750 °С, что снижает требования к термохимическим свойствам конструкционных материалов и сокращает их эрозионный износ. Процесс сжигания полностью локализуется в слое и не переходит в пространство над слоем катализатора, исключая протекание вторичных эндотермических реакций в надслоевом пространстве с образованием токсичных продуктов, например по реакции



С 1993 г. в России эксплуатировались десятки котельных небольшой (до 250 кВт) мощности с кипящим слоем катализатора, использовавших жидкое дизельное или печное топливо для локального теплоснабжения промышленных и коммунальных объектов [3—5]. Опыт эксплуатации таких котельных показал высокую эффективность каталитического сжигания топлив и достаточно высокую надежность новой технологии. Однако из-за резкого удорожания жидкого топлива и дефицитности катализатора, производившегося ранее только на ОАО «Катализатор» в г. Новосибирске, эти котельные были переведены в разряд резервных.

В настоящем сообщении приводятся данные по опыту эксплуатации каталитических тепловых установок, работающих на твердом топливе, в Институте катализа СО РАН и на железнодорожной станции Артышта-2 Кемеровской области.

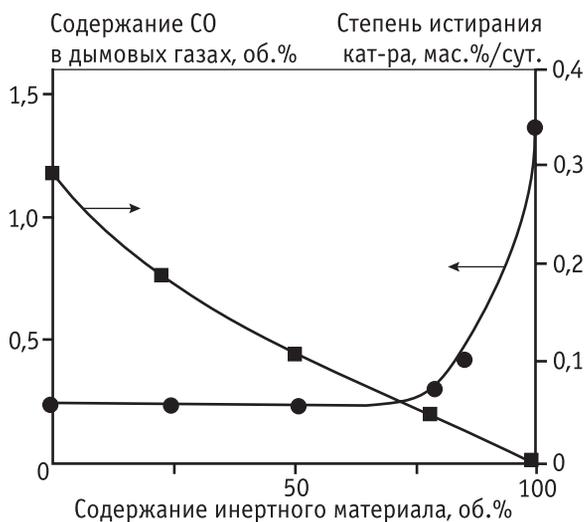
### **Демонстрационная каталитическая котельная на твердом топливе**

Исследования по каталитическому сжиганию различных твердых углеродсодержащих материа-

лов (ископаемые угли, торф, твердые отходы промышленности, сельского и коммунального хозяйств) на лабораторных и стендовых установках с псевдоожиженным слоем катализатора показали высокую эффективность такого сжигания, а также значительное снижение выбросов токсичных продуктов с дымовыми газами по сравнению со сжиганием в кипящем слое инертного материала [5—9]. В частности, известно, что сжигание твердых топлив в слоевых топках и кипящем слое инертного материала с присутствием в них хлорсодержащих соединений может вызвать образование значительных количеств хлорированных бензодиоксинов и бензофуранов, представляющих особую опасность для человека и окружающей среды [10, 11]. В то же время, опыт по сжиганию в псевдоожиженном слое катализатора осадков коммунальных сточных вод г. Омска, содержащих 0,2 мас.% хлора, показал, что концентрации наиболее опасных 2,3,7,8-тетрахлордibenзодиоксинов (ТХДД) и 2,3,7,8-тетрахлордibenзофурана (ТХДФ) в дымовых газах ниже предела их обнаружения, составляющего  $10 \cdot 10^{-9}$  мг/м<sup>3</sup> [12]. Максимальная из зафиксированных по пробам концентрация ТХДД и ТХДФ в диоксиновом эквиваленте в дымовых газах после сжигания осадков в псевдоожиженном слое катализатора составляет  $47 \cdot 10^{-9}$  мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация существенно ниже норм ПДК в атмосферном воздухе, которая, например, по санитарным нормам США равняется  $100 \cdot 10^{-9}$  мг/м<sup>3</sup> [10].

Катализатор при сжигании топлив в псевдоожиженном слое подвержен совокупному воздействию высоких температур, механических нагрузок и реакционной среды. Это приводит к его истиранию и выносу в виде пыли с дымовыми газами. Выполненные в Институте катализа СО РАН исследования показали, что слой катализатора можно разбавить гранулами инертного материала (речной или кварцевый песок) без снижения эффективности окисления топлив вплоть до содержания катализатора в смеси 15—20 об.% [13]. При этом степень истирания катализатора уменьшается в несколько раз (см. рис. 1). Это позволяет существенно увеличить срок его службы и одновременно снизить эксплуатационные затраты на катализатор.

Для исследования процесса сжигания твердых топлив и отработки конструкции теплогенератора в Институте катализа СО РАН на базе серийной каталитической котельной на жидком топливе [5] создана демонстрационная каталитическая тепловая



**Рис. 1.** Влияние содержания (объемной доли) инертного материала (песка фракции 1,1–1,3 мм) в слое с алюмо-меднохромовым катализатором ИК-12-73 на содержание СО в дымовых газах и степень истирания катализатора при окислении дизельного топлива

установка (КТУ) промышленной мощности 230 кВт, работающая на твердом топливе (рис. 2).

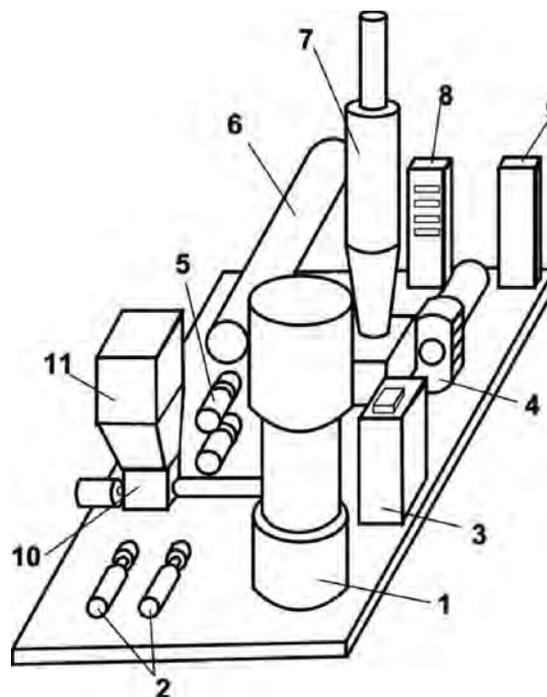
Технические характеристики демонстрационной каталитической тепловой установки, работающей на твердом топливе, таковы:

Габариты реактора:	
диаметр (без термоизоляции), м.....	0,44
высота, м.....	2,5
Поверхность теплообменника, м <sup>2</sup> .....	3,3
Тепловая мощность, кВт.....	230
Коэффициент полезного использования	
теплоты топлива, %.....	93–94
Температура в зоне сжигания, °С.....	650–750
Температура дымовых газов, °С.....	100
Температура воды, °С:	
на входе.....	45
на выходе.....	95
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч.....	4
Расход воздуха, нм <sup>3</sup> /ч.....	250
Установленная мощность токоприемников:	
электронагревателя, кВт.....	20
водяного насоса, кВт.....	4,0
топливного насоса, кВт.....	0,27
воздуходувки, кВт.....	4,0
шнекового дозатора.....	0,25
Загрузка катализатора, м <sup>3</sup> .....	0,15

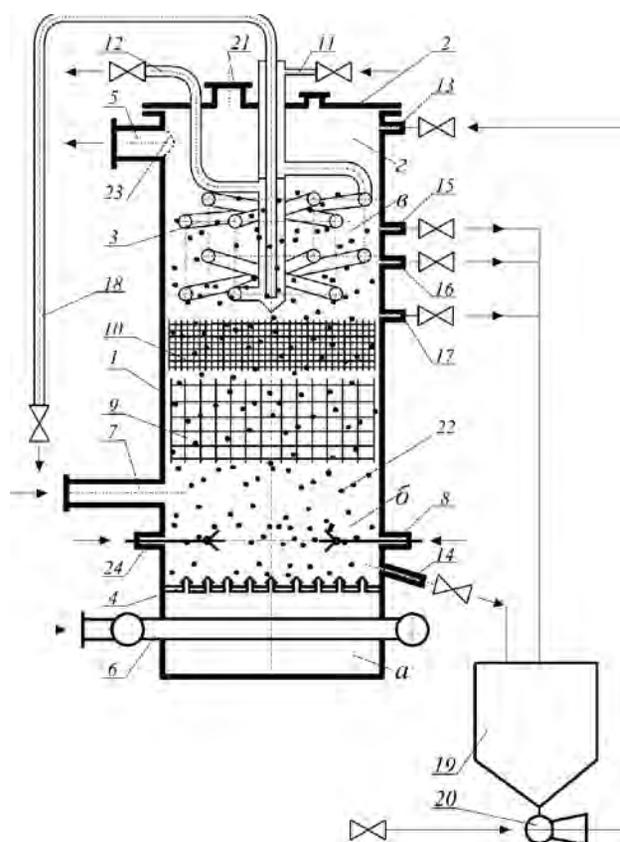
Теплогенератор КТУ для сжигания как жидкого, так и твердого и газообразного топлива (см. рис. 3)

состоит из вертикального корпуса 1, в котором имеются секции подвода воздуха (а), горения (б), теплосъема (в) и сепарационная зона (г) [14]. Секция подвода воздуха (а) состоит из камеры с патрубком б для ввода воздуха и предназначена для равномерного распределения воздуха по сечению газораспределительной решетки 4. Секция горения (б) отделена от секции подвода воздуха газораспределительной решеткой 4 и имеет патрубки для подачи газообразного 24, жидкого 8 или твердого топлива 7, патрубок с вентилем для выгрузки катализатора 14. Дополнительно в секции горения над газораспределительной решеткой размещены объемная организующая насадка 9 и неизотермическая насадка 10, изготовленные из проволочных решеток с диаметром ячейки 30 и 10 мм, соответственно.

Секция теплосъема (в) состоит из теплообменника 3 змеевикового типа, большая часть которого переходит в сепарационную зону (г). В секции теплосъема расположены патрубок входа холодной воды 11, патрубок для выхода нагретой воды 12, сифон 18 с вентилем для слива воды из теплообменни-



**Рис. 2.** Схема компоновки эксплуатационно-транспортного блока демонстрационной каталитической тепловой установки мощностью 230 кВт для сжигания твердого топлива 1 – каталитический теплогенератор; 2 – насосы циркуляционные; 3 – воздухонагреватель пусковой; 4 – воздуходувка; 5 – топливная станция; 6 – теплообменник дымовые газы–воздух; 7 – циклон с бункером; 8 – шкаф управления; 9 – шкаф силовой; 10 – шнековый питатель; 11 – бункер твердого топлива



**Рис. 3.** Детальная схема теплогенератора каталитической тепловой установки

ка во время остановки теплогенератора при температурах наружного воздуха ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сепарационная зона (2) расположена в верхней части теплогенератора и имеет патрубок 5 для выхода дымовых газов, патрубок с вентилем 13 для перегрузки катализатора, патрубок 2 для загрузки катализатора, патрубки 15, 16, 17 с вентилями для выгрузки катализатора, предохранительную мембрану 21.

Каталитический теплогенератор работает следующим образом. В теплогенератор через патрубок 2 (или из бункера 19 пневмотранспортом) загружают катализатор в количестве, обеспечивающем максимальную мощность теплогенератора. Воздух по патрубку 6 подается в секцию подвода воздуха (а), проходит газораспределительную решетку 4 в секцию горения (б), куда по патрубкам 24 или 8, 7 подается топливо (газовое, жидкое или твердое).

Частицы катализатора 22 приводятся в псевдооживленное состояние под действием восходящего потока воздуха и дымовых газов. В секции горения выделяется теплота за счет сгорания топлива на катализаторе. Образовавшиеся в результате коалесценции мелких пузырей крупные газовые пузыри,

содержащие воздух и топливо, разбиваются на мелкие на организующей насадке 9, что интенсифицирует горение топлива и обеспечивает полноту его сгорания.

Горячие дымовые газы и катализатор проходят через неизотермическую насадку 10 в секцию теплосъема, где отдают теплоту теплообменнику и охлаждаются. Охлажденный катализатор возвращается в зону горения. Основное количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива в секции горения, передается в секцию теплосъема частицами катализатора. Неизотермическая насадка тормозит скорость циркуляции частиц катализатора между секциями горения и теплосъема, что позволяет поддерживать в секции горения оптимальную температуру для сжигания топлива  $700\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в секции теплосъема температуру  $600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , оптимальную для обеспечения максимальных коэффициентов теплоотдачи от псевдооживленного слоя к теплообменным поверхностям. Далее дымовые газы проходят через сепарационную зону и устройство против уноса катализатора 23, представляющего собой сетку с ячейкой, меньшей частиц катализатора. Теплота от катализатора отводится через поверхность теплообменника 3, погруженного в псевдооживленный слой. Отвод теплоты от дымовых газов происходит через поверхность, находящуюся в надслоевом пространстве сепарационной зоны. Вода в теплообменник поступает по патрубку 11 с температурой  $40\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выходит из теплообменника 3 с температурой  $80\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Результаты экспериментов по сжиганию различных твердых топлив и отходов на демонстрационной КТУ при температуре  $700\text{--}740\text{ }^{\circ}\text{C}$  и избытке воздуха ( $\alpha = 1,2$ ) приведены в табл. 2. В теплогенератор загружали 150 л смеси алюмомеднохромового катализатора ЩКЗ-1 и речного песка. Катализатор ЩКЗ-1, с размером частиц  $1,5\text{--}2,5\text{ мм}$ , произведен на ЗАО «Шелковский катализаторный завод» в г. Шелково. Загрузка катализатора составляла 50 л, количество речного песка с размером частиц  $1,1\text{--}1,3\text{ мм}$  — 100 л. Отбор проб и определение концентрации токсичных примесей в дымовых газах проводили по стандартным методикам с использованием газоанализатора KM 900 Combustion Analyzer («Kane International LTD, UK»).

В экспериментах использовали следующие углеродсодержащие материалы с размером частиц  $< 1,25\text{ мм}$ : антрацит (месторождение — Новосибирская область), каменный уголь (марки Г, Кузнецкий

Таблица 1

**Степень выгорания некоторых углеродсодержащих материалов в демонстрационной каталитической тепловой установке**

Материал	Содержание летучих веществ, мас. %*	Зольность, мас. %	Степень выгорания, мас. %
Антрацит	10,1	17,5	80,4
Уголь Г	41,7	25,0	94,7
Водоугольная суспензия	41,7	25	97,4
Уголь Б	47,0	28,3	98,6
Сланцы **	65,7	49,0	97,2
Торф	70,4	24,3	99,2
Шлам-лигнин	78,7	19,0	99,4
Древесные опилки	85,2	0,95	99,9

\* Содержание летучих веществ приведено для горючей массы углеродсодержащих материалов.  
 \*\* Сжигание сланцев проводилось на стендовой установке.

бассейн), бурый уголь Ирша-Бородинского месторождения (уголь Б), горючие сланцы (Беларусь), торф (месторождение — Новосибирская область), шлам-лигнин Байкальского целлюлозно-бумажного комбината [9], водоугольную суспензию (каменный уголь марки Г, Кузнецкий бассейн) с содержанием воды 50,5 мас.%, древесные опилки. Характеристики углеродсодержащих материалов приведены в справочнике [16]. С уменьшением степени метаморфизма углеродсодержащего материала степень выгорания углерода возрастает от 80 % для антрацита до 99,9 % для древесных опилок (табл. 1).

Независимо от природы сжигаемого твердого топлива, после слоя катализатора концентрация СО не превышает 300 мг/м<sup>3</sup>, концентрация оксидов азота составляет 150—200 мг/м<sup>3</sup>, концентрация оксидов серы 10—50 мг/м<sup>3</sup>. Это значительно ниже концентраций токсичных веществ, образующихся при традиционных способах сжигания топлив в слоевых топках и кипящем слое инертного материала, а также ниже предельно допустимых выбросов по санитарным нормам [14].

Одним из названных недостатков котельных с кипящим слоем инертного материала является сложность регулирования их мощности [1]. В каталитическом теплогенераторе регулирование температуры в зоне горения топлива (*б*) и температуры горячей воды на выходе *И2* из теплогенератора осуществляется путем автоматического отключения и включения подачи топлива. При достижении предельной температуры горячей воды 95 °С и температуры в зоне горения топлива выше 750 °С происходит отключе-

ние подачи топлива. При снижении температуры в зоне горения ниже 750 °С, а температуры воды ниже 90 °С подача топлива возобновляется. Изменение температуры слоя происходит достаточно быстро. Температура горячей воды *И2* меняется медленнее, и поэтому регулирование режимов работы теплогенератора обычно осуществляется в зависимости от температуры горячей воды. С уменьшением теплосъема в системе отопления, например за счет повышения температуры наружного воздуха, происходит повышение температуры обратной воды *И1* выше регламентированной 40—60 °С. Это увеличивает интервал времени между отключением и включением подачи топлива в секцию горения и, как следствие, снижает температуру в секции горения существенно ниже 700 °С. В свою очередь, снижение температуры в секции горения ниже 700 °С приводит к уменьшению полноты сгорания топлива и увеличению выбросов токсичных веществ с дымовыми газами. Поэтому при длительном повышении температуры обратной воды отключают подачу топлива и воздуха в теплогенератор, т.е. проводят остановку его работы. В последующем требуется снова проводить длительный и трудоемкий пуск теплогенератора в работу.

В настоящее время в каталитическом теплогенераторе при повышении температуры обратной воды *И1* выше предельной открывается вентиль на трубке *И4* и часть катализатора выгружается из теплогенератора [15]. Это приводит к уменьшению поверхности теплообменника *З*, погруженного в псевдоожиженный слой, и снижению мощности теплогенератора. Как следствие, при этом интервал

времени между включением и отключением подачи топлива в секцию горения уменьшается, и температура в секции горения сохраняется в пределах 700—800 °С. Отгрузка катализатора из теплогенератора производится ступенчато самотеком через патрубки 14—17 путем открытия вентилей в зависимости от значения температуры обратной воды II. При этом теплогенератор обеспечивает стабильную температуру в зоне горения топлива при уменьшении его мощности до 21—22 % от максимальной. Обратное повышение мощности теплогенератора с увеличением теплосъема в системе отопления и снижением температуры обратной воды II на входе в теплообменник 3 проводится в следующем порядке: подается воздух на эжектор 20, открывается вентиль на патрубке 13 и в теплогенератор загружается необходимое количество катализатора до уровня закрытого патрубка 17, 16 или 15.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики водогрейного котла, работающего на твердом топливе со слоевой топкой, производства Новой Энергетической Компании (НЭК, г. С-Петербург) и каталитического теплогенератора (КТУ).

Таблица 2

**Сравнительные характеристики теплогенераторов с факельным (котел НЭК) и каталитическим (КТУ) способами сжигания твердых топлив**

Параметр	Котел НЭК	КТУ
Тепловая мощность, кВт (Гкал/ч)	230 (0,2)	230 (0,2)
Коэффициент полезного использования теплотворной способности топлива, %	75	93
Габариты теплогенератора, мм:		
длина	3000	440*
ширина	1400	—
высота	1800	3000
Объем котла, м <sup>3</sup>	7,56	0,45
Расход топлива – бурый уголь с тепловой сгорания 2440 ккал/кг, кг/ч	94	88
Температура в топке, °С	1100	700
Содержание токсичных веществ в дымовых газах, мг/м <sup>3</sup> :		
NO <sub>x</sub>	до 2000	50–250
CO	до 1000	50–300
SO <sub>x</sub>	до 500	1–50
* Диаметр аппарата.		

Таким образом, наряду с экологической чистой каталитические теплогенераторы позволяют существенно снизить габариты и металлоемкость аппаратов, а также существенно повысить коэффициент полезного использования теплоты топлива. Важным достоинством каталитического теплогенератора является принципиальная возможность сжигания газообразных, жидких и твердых топлив без переналадки оборудования.

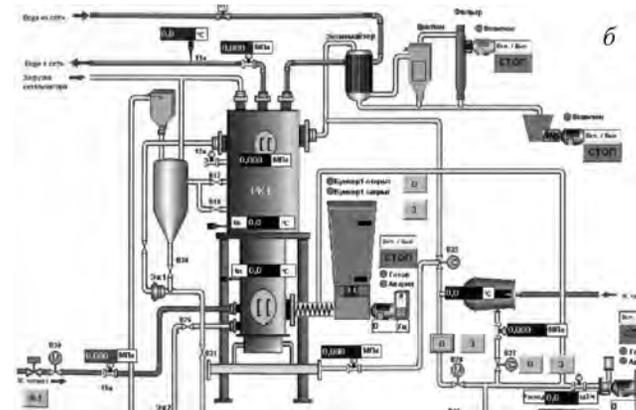
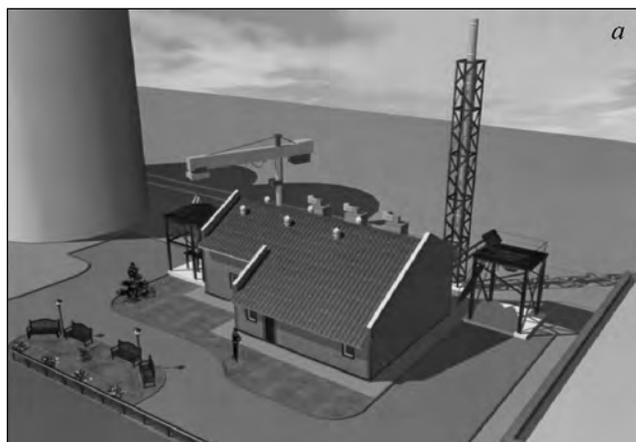
### Промышленная каталитическая котельная на твердом топливе

На основе данных, полученных при испытании демонстрационной каталитической тепловой установки в Институте катализа СО РАН, ООО «Термо-Софт-Сибирь» (г. Новосибирск) приступило к проектированию и изготовлению промышленных котельных с каталитическими теплогенераторами, работающими на твердом топливе. На рис. 4, а показан общий вид котельной тепловой мощностью около 3 Гкал/ч, созданной на железнодорожной станции Артышта-2 (Кемеровская обл.) при техническом перевооружении старой традиционной угольной котельной. Котельная состоит из трех каталитических тепловых установок мощностью по 1 Гкал/ч. Технические характеристики новой котельной:

Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч .....	3,0
Максимальная потребляемая мощность токоприемников, кВт.....	180
Максимальный расход твердого топлива, кг/ч.....	650
Температурный режим теплоснабжения, °С .....	90—70
Температура кипящего слоя, °С.....	700—750
Температура отходящих дымовых газов после экономайзера, °С.....	120
Максимальный расход воды, м <sup>3</sup> /ч.....	36,3
Коэффициент полезного использования теплотворной способности топлива, %.....	93—96
Габаритные размеры (с отделением углеподготовки, без дымовой трубы и газоходов), м.....	16×11

Установка включает 3 каталитических теплогенератора (реакторы) с номинальной мощностью 1 Гкал/ч, систему подачи твердого топлива (расходный бункер со шнековым дозатором), устройства для подачи жидкого топлива в теплогенератор, систему розжига на жидком топливе, ротационно-поршневой компрессор для подачи воздуха для

ожижения слоя катализатора и окисления топлива, экономайзер, систему очистки дымовых газов от пыли (циклон и рукавный фильтр). Дымовые газы после циклонов и фильтров сбрасываются в общую дымовую трубу. Система углеподготовки является общей для 3 теплогенераторов. Каменный уголь Беловского месторождения (Кемеровская обл.) консольным краном с грейфером подается в бункер объемом  $7 \text{ м}^3$ . Из бункера по скребковому конвейеру уголь поступает в дробилку первой ступени и измельчается до фракции 20 мм. Затем просыпается во вторую дробилку, где измельчается до фракции 2 мм. Дробленый уголь по трубному конвейеру подается в котельную, где винтовым конвейером производится раздача угля по расходным бункерам теплогенераторов. Из циклонов и фильтров уловленная зола попадает в трубный конвейер, по которому подается в бункер-накопитель объемом  $6 \text{ м}^3$ . Под бункером предусмотрена площадка для подъезда автомобиля. В тепломеханической час-



**Рис. 4.** Общий вид котельной мощностью 3 Гкал/ч с каталитическим сжиганием твердого топлива на ж/д ст. Артышта-2 Кемеровской обл. (а) и схема автоматического управления установкой (б)

ти котельной установлены насосы внутреннего и сетевого контуров, теплообменники — сетевые и горячего водоснабжения, установка водоподготовки. В котельной предусмотрено автоматическое управление теплогенераторами, тепломеханическим оборудованием, линиями углеподачи и золоудаления. Для реализации функций управления, регулирования, регистрации событий и параметров используется универсальный контроллер с отображением параметров на пульте управления (рис. 4, б).

Котельная на железнодорожной станции Артышта-2 эксплуатируется с 2009 г. уже в течение 3 отопительных сезонов. В теплогенератор котельной загружается смесь катализатора ЩКЗ-1 и кварцевого песка в соотношении 1 : 4 в общем количестве 650 кг. При промышленной эксплуатации котельной степень истирания катализатора не превышала 0,2 мас.% в сутки. Степень истирания песка существенно выше и составляла 0,5—0,6 мас.% в сутки. Степень выгорания низкокачественного каменного угля (марки Г, Кузнецкий бассейн) составляла 94—97 %. Концентрация оксидов азота в дымовых газах не превышала  $100\text{--}200 \text{ мг/м}^3$ , оксидов серы —  $30 \text{ мг/м}^3$ , СО —  $100\text{--}300 \text{ мг/м}^3$ . По сравнению с ранее существовавшей на железнодорожной станции Артышта-2 котельной со слоевым сжиганием угля, месячный расход угля снизился более чем в 4,5 раза, а электроэнергии — в 1,4 раза.

В настоящее время аналогичные котельные построены и эксплуатируются также в г. Юрга (Кемеровская область) и в с. Кулунда (Алтайский край).

## Заключение

Опытная и промышленная эксплуатация каталитических тепловых установок для сжигания твердых топлив в псевдоожиженном слое катализатора подтверждает данные об их высокой эффективности, полученные ранее при лабораторных и стендовых испытаниях. Положительный опыт эксплуатации демонстрационной каталитической тепловой установки в Институте катализа СО РАН и коммунальной каталитической котельной на железнодорожной станции Артышта-2 позволил приступить к разработке и созданию типовых каталитических теплогенераторов мощностью от 0,5 до 10 Гкал/ч.

*Работа выполнена в соответствии с Госконтрактом Минобрнауки РФ № 16.526.12.6012.*

## Литература

1. Баскаков А.П., Манцев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. М.: ЭАИ, 1995.
2. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986.
3. Пармон В.Н., Исмагилов З.Р., Кириллов В. А., Симонов А.Д. // Катализ в промышленности. 2002. № 3. С. 20.
4. Simonov A.D., Yazykov N.A., Vedyakin P.I., Lavrov G.A., Parmon V.N. // Catal. Today. 2000. № 60. P. 139.
5. Симонов А.Д., Языков Н.А., Ведякин П.И., Лавров Г.А., Пармон В.Н. // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. Т. 9. № 1. С. 97.
6. Симонов А.Д., Языков Н.А. // Хим. пром-сть. 1996. № 3. С. 47.
7. Simonov A.D., Mishenko T.I., Yazykov N.A., Parmon V.N. // Chem. for Sustainable Devel. 2003. № 11. P. 277.
8. Симонов А.Д., Чуб О.В., Языков Н.А. // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18. С. 749.
9. Симонов А.Д. // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. Т. 6. С. 277.
10. Федоров Л.А., Мясоедов Б.Ф. // Успехи химии. 1990. Т. 59. № 11. С. 1818.
11. Прокофьев А.К. // Успехи химии. 1990. Т. 59. № 11. С. 1799.
12. Симонов А.Д., Языков Н.А., Трачук А.В., Яковлев В.А. // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 6. С. 86.
13. Пат. 2057988 (РФ). Способ сжигания топлива. А.Д. Симонов, Н.А. Языков. Патент России № 2057988, БИ № 10, 1996.
14. Павлов П.П. Экологический анализ локальных систем теплоснабжения. Автореф. канд. дис., Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН, Иркутск, 1999.
15. Пат. 2232942 (РФ). Каталитический теплогенератор и способ регулирования его мощности. Симонов А.Д., Языков Н.А., Ведякин П.И., Афлятунов А.С., Смолин С.В., Пармон В.Н. Пат. РФ № 2232942, БИ № 20, 2004 г.
16. Роддатис К.Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1989.

УДК 66.097.3: 661.961.6

## НОВАЯ БАЗОВАЯ ФОРМА КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ РЕАКТОРОВ КОНВЕРСИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

© 2012 г. В.Л. Гартман<sup>1</sup>,  
А.В. Обысов<sup>1</sup>, А.В. Дульнев<sup>1</sup>,  
С.В. Афанасьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР», Новомосковск<sup>2</sup> Тольяттинский государственный университет, Тольятти

За последние полвека произошла заметная эволюция формы гранул катализаторов конверсии углеводородов. Представляет интерес проследить, какие характеристики зернистого слоя катализаторов

менялись на основных этапах этой эволюции и попытаться прогнозировать ее дальнейший ход. Хотя разнообразие типовых форм насчитывает не менее десятка, в данной работе мы ограничились четырьмя из них (цилиндры, кольца, цилиндры и сферы с каналами), выпускаемыми в настоящее время отечественной промышленностью, но появившимися на разных этапах этой эволюции.

Многолетняя эксплуатация больших агрегатов производства аммиака фирм «ТЕС» и «Kellogg» и подобных им в СССР, а потом в бывшем СССР показала, что оборудование в основном было спроек-

**Гартман В.Л.** – канд. техн. наук, технолог катализаторного производства ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР». E-mail: vhart@yandex.com

**Обысов А.В.** – гл. специалист по новым технологиям той же организации. Тел.: (48762) 7-17-09. E-mail: avdulnev@yandex.ru

**Дульнев А.В.** – канд. техн. наук, директор научной части той же организации. Тел.: (48762) 7-18-15. E-mail: avdulnev@yandex.ru

**Афанасьев С.В.** – д-р техн. наук, проф. Тольяттинского государственного университета. E-mail: svaf77@mail.ru