

УДК 662.182

## Твердотопливные котлы с топками «кипящего слоя»

В.В.Чернокрылюк,<sup>1</sup> А.Ф.Редько,<sup>2</sup> А.М.Тарадай,<sup>3</sup> В.А.Сиротенко,<sup>4</sup> Е.С.Есин<sup>5</sup>

<sup>1</sup>аспирант Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. [riello@ukr.net](mailto:riello@ukr.net)

<sup>2</sup>д.т.н, профессор, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. [fgvtver@gmail.com](mailto:fgvtver@gmail.com)

<sup>3</sup>д.т.н, профессор, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. [info\\_mrk@ukr.net](mailto:info_mrk@ukr.net)

<sup>4</sup>к. т. н, генеральный директор Харьковских тепловых сетей.

<sup>5</sup>аспирант, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. [esin\\_mrk@ukr.net](mailto:esin_mrk@ukr.net)

*В статье описана конструкция нового топочного устройства с использованием технологии «кипящего слоя» для сжигания низкосортных углей и нетрадиционных видов топлива. Представлен опыт разработки и внедрения в практику теплоснабжения топок «кипящего слоя», а также результаты испытаний предлагаемых котлов.*

*Ключевые слова: теплоснабжение, твердотопливные котлы, кипящий слой, разработка, испытание, альтернативное топливо, энергосбережение.*

**Введение.** Технология «кипящего слоя» позволяет повышать эффективность сжигания низкокачественных или нетрадиционных видов топлива, в том числе углей с высоким содержанием золы, отходов углеобогащения, сланцев, антрацитов, шламов осадков сточных вод и так далее. Эта технология отличается также высокой экологичностью, в частности, количество выбросов токсичных оксидов серы в атмосферу может быть снижена больше чем на 90%.

Топки «кипящего слоя» позволяют использовать нетрадиционные и низкосортные виды топлива (щепа, древесные отходы, торф, низкокалорийные угли, шламы и др.), а также создают возможность сжигания различных видов топлива в одном топочном устройстве. Сжигание топлива в «кипящем слое» обеспечивает выполнение жестких экологических норм по выбросам SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> без сооружения дополнительных установок по серо- и азотоочистке.

### **1 Конструкция топок с «кипящим слоем»**

Дефицит газового топлива и сложности добычи и сжигания твердого топлива создают повышенный интерес к котлам, оборудованным топками с псевдооживленным или «кипящим слоем» (рис.1).

Со слоевыми топками их объединяет прежде всего возможность сжигания "дробленки" с размером кусков до 10-20 мм и наличие решетки, через которую в слой подается воздух. При повышении скорости воздуха, продуваемого через слой, наступает момент, когда аэродинамическая сила, действующая на каждую

частицу топлива, преодолевает силы взаимного трения частиц. Дальнейшее увеличение расхода воздуха приводит к псевдоожигению частиц топлива, слой как бы кипит (отсюда название «кипящий слой»), высота и пористость его увеличивается.

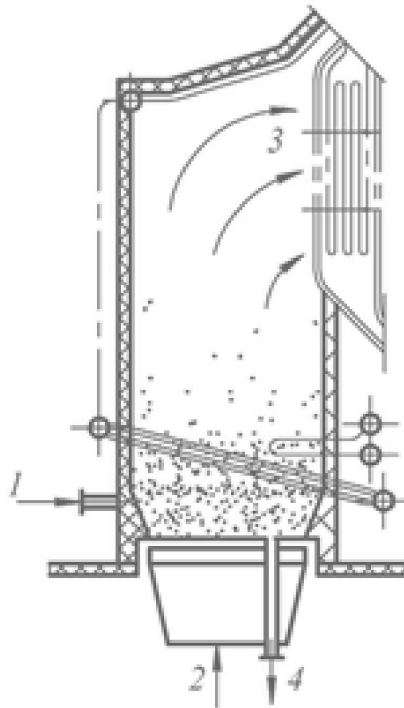


Рис. 1. Топка с «кипящим слоем»

1 – подача топлива; 2 – подача воздуха; 3 – сгорание и унос золы; 4 – вывод донной (подовой) золы)

Минимальную скорость, при которой начинается псевдоожигение, называют первой критической скоростью  $W_{кр1}$ ; при второй критической скорости  $W_{кр2}$  аэродинамическая сила становится равной силе тяжести частиц топлива, и начинается их интенсивный вынос из слоя.

Топки с «кипящим слоем» работает со скоростями от  $W_{кр1}$  до  $W_{кр2}$ . Различают топки с обычным, или стационарным «кипящим слоем» (когда скорость в нем близка к  $W_{кр1}$ ) (рис.1) и топки с циркулирующим «кипящим слоем» (когда скорость близка к  $W_{кр2}$ ) (рис.2). В последнем случае из слоя выносятся значительная часть недогоревшего топлива, которое улавливается и затем в горячих циклонах и возвращается для дожигания.

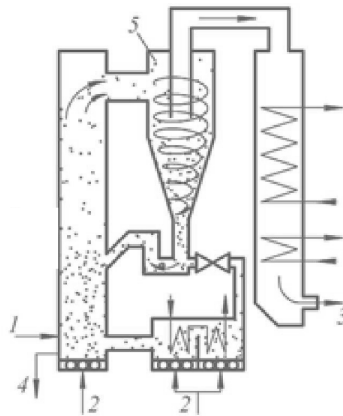


Рис. 2. Топка с циркулирующим «кипящим слоем»

1 – подача топлива; 2 – подача воздуха; 3 – сгорание и унос золы; 4 – вывод донной (подовой золы); 5 – циклон

Важно отметить, что в топках с «кипящим слоем» количество горючего материала составляет обычно небольшую долю от массы слоя, также основу его составляет инертный материал или зола топлива (при сжигании высокозольных углей). Интенсивное перемешивание твердых частиц под воздействием сжижающего воздуха, проходящего через слой зернистого материала, обеспечивает повышенный тепло- и массообмен в слое.

К основным достоинствам метода сжигания твердого топлива в «кипящем слое» относятся:

- обеспечивается высокий коэффициент теплопередачи;
- длительное пребывание частиц в слое позволяет сжигать уголь с повышенной зольностью и отходы производства;
- появляется возможность создать более компактное топочное устройство без системы пылеприготовления, при этом снижаются удельные капитальные затраты на сооружение котельной, а также ремонтные расходы;
- низкие температуры в слое (800-950°C) обеспечивают отсутствие термических оксидов азота, что в некоторых случаях сокращает выбросы оксидов азота в атмосферу;
- добавка известняка в слой связывает серу топлива с зольным остатком, что уменьшает выбросы сернистого ангидрида с дымовыми газами в атмосферу.

## 2 Опыт внедрения в теплоснабжении

В Украине реконструкции котлов НИИСТУ-5 с устройством топок «кипящего слоя» уделялось много внимания в конце 80-х годов прошлого столетия. Было даже принято соответствующее постановление Совета Министров УССР, приказ Министерства жилищнокоммунального хозяйства, выделены специальным назначением сто серийных котлов НИИСТУ-5 и

комплектующих к ним, а также другие материалы и ресурсы. Были определены ряд предприятий системы Укртеплокоммунэнерго, которые должны были заниматься разработкой и внедрением метода совместно с научно-исследовательскими, учебными и проектными институтами. Для практической реализации проблема оказалась весьма сложной по целому ряду объективных и субъективных причин. Наиболее удачно решали эту задачу в Харьковской области специалисты объединения «Харьковтеплоэнерго» совместно с кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции и использования вторичных тепло-энергетических ресурсов Харьковского инженерно-строительного института (ныне ХНУБА) под руководством и непосредственном участии профессора Сиротенко В.А.

Аналогичные работы проводились в 1986-1987 гг. в «Житомиртеплокоммунэнерго» и «Черниговтеплокоммунэнерго».

Результатом проделанной научной, проектной и наладочной работы «Харьковтеплокоммунэнерго» явилось переоборудование котельной в пгт. Новая Водолага. Котельная до переоборудования на «кипящий слой» работала на угле. В ней были установлены 4 котла НИИСТУ-5 поверхностью нагрева 46,5 м<sup>2</sup> каждый. Котельная обеспечивала теплом небольшой жилой микрорайон. На «кипящий слой» было переведено 2 котла из 4. Была оборудована специальная углеподготовка, состоящая из дробилки, сушки и сортировки топлива. Котлы «кипящего слоя» проработали один отопительный сезон. Для нормальной стабильной работы котельной пришлось задействовать в течении всего отопительного сезона дополнительно к штатному эксплуатационному персоналу специальный штат ремонтников и наладчиков.

Основной причиной приведшей к невозможности дальнейшей стабильной эксплуатации котельной в штатном режиме явилось несоответствие поставленных задач и методов их реализации.

Это несоответствие заключалось в том, что задача создания стабильно работающего генератора тепла (котла с топкой «кипящего слоя») решалась с использованием обычных серийных котлов «НИИСТУ-5», выполненных из нелегированной стали, а также нежаропрочных материалов топки и других элементов. Кроме того не были решены проблемы загрузки топлива, выгрузки шлака, автоматизации процессов горения и другие.

Из-за сложностей реальной эксплуатации по окончании отопительного сезона топки «кипящего слоя» были демонтированы, как не пригодные к штатной эксплуатации, а котельная была газифицирована.

В 1986-1987 гг. в «Житомиртеплокоммунэнерго» и «Черниговтеплокоммунэнерго» эксплуатировались экспериментальные образцы топок с «кипящим слоем», установленные под десятью котлами НИИСТУ-5. Во время работы сжигали угли разных марок, в том числе: газовый концентрат (ГК), газовый жирный концентрат (ГЖК), антрацитовый штыб (АШ-0-6) зольностью 32-44%, тощий концентрат (ТК), промежуточный продукт (0-13) зольностью 27-44%, а также золу из слоевых топок содержащую до 60% негорючих веществ. Штатная эксплуатация котельных не удалась.

Разработка и внедрение в практику теплоснабжения топок «кипящего слоя» занимался также коллектив под руководством доктора технических наук профессора Андрейчука Николая Даниловича, возглавлявшего долгие годы «Лугансктеплокоммунэнерго». Ими были выполнены работы по оборудованию топок «кипящего слоя» на паровых котлах типа ДКВР, а также на ряде других котлов промышленного назначения. Эти котлы работают на производствах и в настоящее время.

На рисунке 3 представлена схема котла, разработанного в Тамбовском государственном техническом университете (Российская Федерация), для сжигания рядовых углей, угольных шламов, отсевов и штыбков.

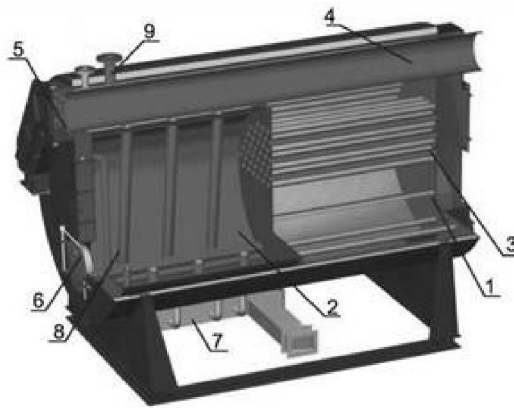


Рис. 3. Схема водогрейного котла, оборудованного топкой с высокотемпературным «кипящим» или интенсивно продуваемым слоем

1 – корпус котла; 2 – жаровая труба; 3 – дымогарные трубы первого хода; 4 – дымоход; 5 – поворотная камера; 6 – дверца; 7 – воздухопровод; 8 – водоподъемные трубы; 9 – выход воды.

Самой важной частью котла является топка высокотемпературного кипящего или интенсивно продуваемого слоя, размещенная в нижней части горизонтальной жаровой трубы. Топка имеет водоохлаждаемые воздухораспределители, выполненные в виде двух швеллеров. Отверстия в боковых полках воздухораспределителей расположены только со стороны продольной оси котла. Воздух из отверстий воздухораспределителя выходит в виде струй по касательной к жаровой трубе, причем в эти отверстия исключается попадание частиц топлива. Предложенная конструкция позволяет организовать в слое интенсивную циркуляцию частиц топлива, ликвидировать образующиеся обычно в кипящем слое зоны локального фонтанирования и, как показали специальные исследования, резко снизить унос топлива из слоя. Котел выполнен трехходовым по ходу дымовых газов, что позволяет снизить температуру дымовых газов за котлом (она не превышает 280 °С даже при мощности котла выше номинальной) и тем самым повысить КПД котла.

Первые котлы были изготовлены в 1997-1999 гг., а на сегодняшний день в эксплуатации на муниципальных и промышленных котельных Тамбовской, Ростовской, Костромской, Ивановской, Тверской, Вологодской, Московской областей, республики Татарстан находится около 150 котлов. В Ростовской области муниципальные котельные целых районов укомплектованы только котлами данной конструкции.

### 3 Испытание котлов оборудованных топкой с высокотемпературным «кипящим» или интенсивно продуваемым слоем

В качестве топлива использовались и/или используются: антрацитовый штыб (Ростовская обл.), кузбасские, интинские, хакаские каменные угли (Костромская, Вологодская, Московская и др. обл.), бурый подмосковный уголь, угольные шламы интинских углей (Костромская обл.) и коксующихся донецких углей (Ростовская обл.). Результаты испытаний котлов номинальной мощностью 500 и 800 кВт соответственно на шламе каменных углей и антрацитовом штыбе представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний котлов при сжигании шлама интинских каменных углей и антрацитового штыба

Наименование показателя	При сжигании угольного шлама	При сжигании антрацитового штыба
Теплопроизводительность котла, кВт:		
- по паспорту	500	800
- фактическая	564	835
Температура уходящих газов за котлом, °С	240	146,1
Состав продуктов сгорания за котлом:		
- O <sub>2</sub> . %	9,46	1,38
- CO <sub>2</sub> . %	10,4	18,9
- CO, мг/м <sup>3</sup>	5679	3441,9
- NO <sub>2</sub> . мг/м <sup>3</sup>	1207,9	307,1
- SO <sub>2</sub> . мг/м <sup>3</sup>	не определялось	1290,6
КПД котла, %	73,7	81,1

По данным зарубежных изданий большой опыт использования в энергетике топочных устройств с «кипящим слоем» накоплен в ФРГ, США, Финляндии и некоторых других странах.

Очевидно, что в нынешних реалиях теплоэнергетики внедрение технологии «кипящего слоя» будет пользоваться все большей популярностью по мере роста цен на газ и мазут, ориентации на снижение импорта российского газа, повышение роли использования местных энергоисточников (в том числе биотоплива, торфа и т.д.) и ужесточения требований экологов.

Промышленное освоение технологии «кипящего слоя» должно осуществляться по трем основным направлениям:

- реконструкция существующих котлов с заменой колосниковой решетки для слоевого сжигания на топочное устройство «кипящего слоя»;
- установка серийных котлов, оснащенных специально разработанным предтопком «кипящего слоя»;

- создание принципиально нового котла с «кипящим слоем».

Во всех случаях базовым техническим решением является устройство в нижней части топочной камеры воздухораспределительной решетки колпачкового типа, а также оснащение котельной установки растопочным устройством, высоконапорным вентилятором и системами подачи топлива (с плавным регулированием производительности) и вывода золошлаковых отходов.

**Выводы.** Результаты многолетней эксплуатации стальных водогрейных жаротрубно-дымогарных котлов подтвердили правильность выбора технологии сжигания в высокотемпературном кипящем или интенсивно продуваемом слое рядовых углей (каменных и бурых), угольных штыбов и шламов.

Проведенные эксперименты показали возможность совместного сжигания в высокотемпературном кипящем слое низкосортных мелкозернистых углей и гранул. При этом обеспечивается не только снижение выбросов окислов серы, золы и шлака в окружающую среду, но и повышается стабильность и скорость горения такого низкорекреационного топлива, как антрацитовый штыб.

Котлы представленной конструкции могут быть успешно применены для сжигания одних только гранул, изготовленных из отходов растениеводства (солома, лузга проса, подсолнечника и т.п.). При этом существенно возрастает скорость горения этого топлива за счет сжигания в кипящем слое, создаваемом в топке котла; исключается возможность образования агломератов золы и шлака, что позволяет, при оборудовании котлов системами подачи агропеллет в топку, полностью механизировать и автоматизировать работу котла, и поднять до уровня газовой котельной уровень эксплуатации и условия труда в котельной, работающей на твердом топливе.

#### Литература

1. Расчеты аппаратов кипящего слоя «Справочник под редакцией Мухленова и др. 1986 год»
2. В.А. Сиротенко. Методы повышения энергоэффективности источников тепла теплоснабжающих организаций. Диссертация соискателя звания доктора наук. – Харьков. – ИПМаш НАНУ. - 1988 год.
3. Н.В. Чернявский. Топливные потери на подставках ТЭС необогащенного и обогащенного угля. «Экология и ресурсосбережения» 2000 №5 с.3-7.
4. А.В. Власюк, П.Ю. Зембицкий, Г.П. Кучин, В.Я. Скрипко, Г.В. Ефимов, П.И. Павленко. «Опыт сжигания низкосортного топлива в топках кипящего слоя отопительных котлов мощностью до 1 МВт». «Новости теплоснабжения» №10(14) октябрь 2001 с.15-16.

#### Твердопаливні котли з топками «киплячого шару»

В. В.Чернокрилук, О.Ф.Редько, О.М.Тарадай, В.А.Сиротенко, Є.С.Єсін.

У статті описана конструкція нового топкового пристрою з використанням технології «киплячого шару» для спалювання низькосортного вугілля та нетрадиційних видів палива.

Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. Вип. 18, 2015

*Представлено досвід розробки і впровадження в практику теплопостачання топок «киплячого шару», а також результати випробувань запропонованих котлів.*

*Ключові слова: теплопостачання, твердопаливні котли, киплячий шар, розроблення, випробування, альтернативне паливо, енергозбереження.*

### **Solid fuel boilers equipped with fire chambers using a "fluidized layer"**

V.Chernokryluk,A.Redko,A.Taraday,V.Sirotenko,Y.Yesin.

*The paper describes the construction of a new flue devices using the technology of "fluidized layer" for burning low-grade coal and non-conventional and low-grade fuels. The experience in the development and introduction into practice of heat supply fire chambers using a "fluidized layer", and the test results of the proposed boilers.*

*Keywords: heat supply, solid fuel boilers, fluidized layer, development, testing, alternative fuels, renewable energy, energy saving.*

Надійшла до редакції 30.03.2015 р.