

УДК 662.9

## **СЖИГАНИЕ КАМЕННОГО УГЛЯ В ВИДЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОВ**

*Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Лазарев С.И., Лапин Д.А.*

*Институт теплофизики СО РАН, ООО «ПРОТЭН», г. Новосибирск,  
ОАО «СКЭК», г. Кемерово*

На территории Кемеровской области насчитывается более тысячи производственно-отопительных котельных малой и средней мощности, осуществляющих теплоснабжение коммунальных потребителей, объектов соцкультбыта, а также подачу тепла на производственные нужды промышленных предприятий. Как правило, котельные оснащены котлами со слоевой топкой, работающими на каменном угле.

Производство и транспортировка тепловой энергии является регулируемым видом деятельности. Тарифы на производство и передачу тепловой энергии ежегодно утверждаются регулирующим органом – Региональной энергетической комиссией. В смете затрат на производство тепловой энергии закладывается рядовой уголь, со стоимостью значительно ниже стоимости сортовых углей.

В настоящее время в сложившейся рыночной ситуации производителям каменного угля крайне невыгодно осуществлять поставку рядового угля предприятиям коммунального комплекса. Большинство производителей угля совсем отказались от поставки рядового угля, а все добываемое топливо подвергают обогащению и сортировке. Сортовой уголь продается конечным покупателям (металлургам, экспортерам и т.д.) по ценам, гораздо выше предусмотренных тарифами теплоснабжающих организаций.

На нужды теплоснабжения же поставляется не рядовой уголь, а смесь образовавшихся в результате обогащения и сортировки классов топлива с преобладающим содержанием неликвидного в других отраслях промышленности «штыба» (до 80%). Оставшиеся 20% представляет собой, как правило, смесь классов «орех», «мелкий», «семечко». В результате вместо рядового угля теплоснабжающие организации получают уголь класса ОМСШ. Существующий в настоящее время ГОСТ Р 51586 – 2000 не регламентирует фракционный состав рядового угля по процентному содержанию классов угля, а лишь задает предельные параметры крупности частиц 0 – 200 (300) мм, что позволяет угольным компаниям продавать получившуюся смесь классов угля как рядовой.

Сжигание в слоевых топках котлов топлива с высоким содержанием «штыба» приводит к снижению КПД котельных агрегатов из-за увеличения механической и химической неполноты сгорания топлива, вследствие выноса мелкой фракции с потоком воздуха, уменьшением доступа воздуха из-за увеличенного сопротивления потоку, а также образованию кратерного горения.

Решением вышеуказанной проблемы является изменение технологии сжигания угля в топках котлов. Одно из направлений – сжигание угля в виде водоугольного топлива (ВУТ). Это позволяет увеличить степень сжигания органи-

ческой составляющей топлива до 95%, что делает процесс сжигания гораздо эффективнее слоевого сжигания, несмотря на присутствие в ВУТ большого количества воды. Кроме того, технология приготовления и сжигания ВУТ позволяет сжигать отходы обогатительных фабрик – фильтр-кек, складываемый в шламотвалах и загрязняющий окружающую среду.

При механическом обезвоживании углей, а также при гидродобыче и гидротранспорте образуются высокообводненные угли мелких классов – шламы, наиболее крупные из которых (более 0,05 (0,5) мм) улавливают и выдают вместе с углями крупных классов. Тонкие частицы (менее 0,05 (0,5) мм) улавливаются менее эффективно, а часто практически не улавливаются при сгущении и обезвоживании и сбрасываются либо в наружные шламовые отстойники, либо в водоемы. При сбросах в отстойники происходит накопление шламов. Количество сбросов составляет, в зависимости от производительности фабрики, от 130 до 350 тыс. т. в год при средней зольности угля в них от 26 до 60%. В результате за период эксплуатации фабрик и гидрошахт только в Кузбассе общее количество накопленных шламов составляет более 25 млн. т. Из них 12,7 млн. т. имеют зольность менее 35% и могут быть успешно использованы как дополнительные ресурсы для получения товарного топлива [1].

Специалистами ОАО «СКЭК» (г. Кемерово) совместно с ООО «Тепло-Пром» и Институтом теплофизики СО РАН была предпринята попытка использовать вывозимый в отвал КЕК с ОФ «Северной» г. Березовский для сжигания вместе с углем в котлах РН-38 со слоевой топкой котельной №7 в пос. Барзас Кемеровской области. Характеристики КЕК ОФ «Северная» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Качественные характеристики КЕК ОФ «Северная»

Показатели	Значения
Зольность, %	18-28
Влажность, %	38-48
Выход летучих веществ, %	20-24
Содержание общей серы, %	0,4-0,8
Ситовый состав, мм	
+ 0,150	27,0
0,04 – 0,150	20,0
0 – 0,04	53,0

Из приведенных данных видно, что по показателям: зольность, влажность, выход летучих и гранулометрическому составу КЕК ОФ «Северная» можно использовать в качестве водоугольного топлива с небольшой дополнительной подготовкой.

Принципиальная технологическая схема сжигания ВУТ на котельной ст. Барзас в котлах с ручной слоевой топкой показана на рис. 1.

До котельной КЕК с ОФ «Северная» доставляется автотранспортом и разгружается в приемную емкость, где он перемешивается шнековым перемешивателем, в случае необходимости разбавляется водой, активируется в генераторе кавитации и подается в емкость хранения ВУТ. Оттуда пневматическим мембранным насосом DM 20/75 AM (производительность 75 л/мин, максимальное

давление 0,8 МПа) ВУТ транспортируется к горелке котла. Для привода мембранного насоса, барботирования водоугольного топлива в емкости хранения, а также в качестве распыливающего агента в пневматической форсунке используется сжатый воздух, вырабатываемый винтовым компрессором ВК 30/10 с номинальной производительностью 3200 л/мин.

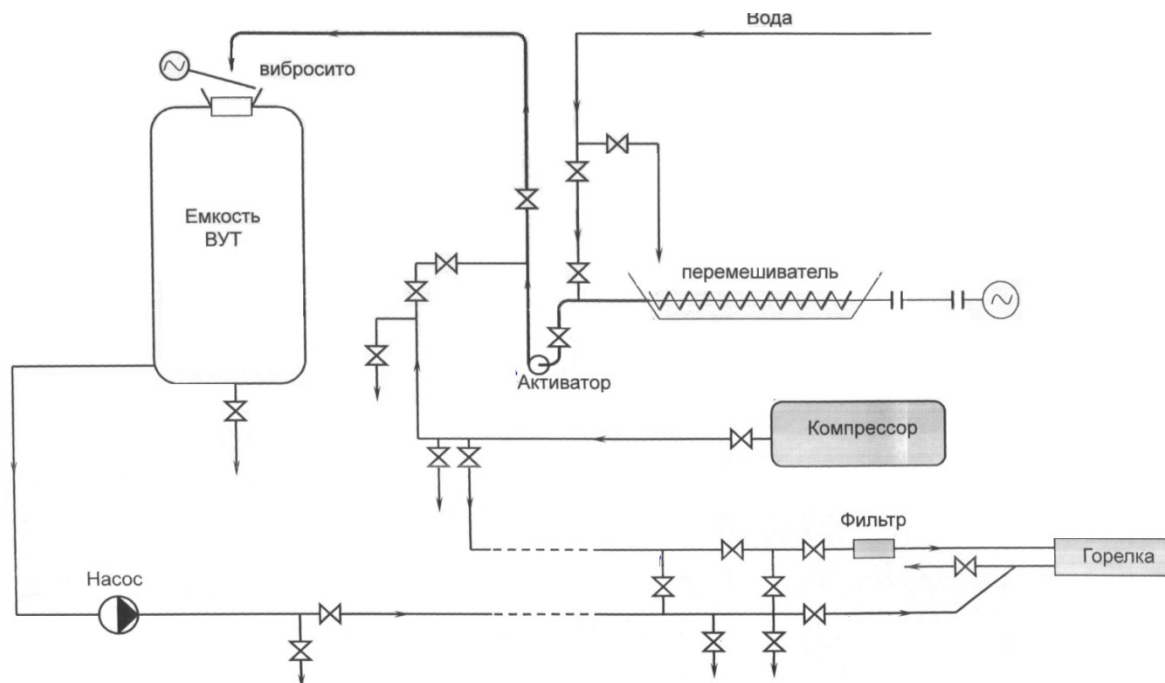


Рис. 1. Технологическая схема сжигания ВУТ в котельной №7.

Характерные особенности ВУТ, а именно: наличие большого количества инертной жидкой фазы и минеральных компонентов в частицах крупностью от 0 до 350 мкм, а также сравнительно низкая теплота сгорания (порядка 2500 ккал/кг), требуют соответствующих условий для надежного воспламенения и устойчивого эффективного горения водоугольного топлива в топках котлов. В данном случае в котле РН-38 применен комбинированный способ капельно-факельного сжигания КЕКа со сжиганием небольшого количества каменного угля в слое для «подсветки». Соотношение ВУТ и каменного угля в котле принято 80% к 20%. Это позволяет стабилизировать зажигание и горение водоугольного топлива, поступающего в топку котла.

Важное место для сжигания водоугольного топлива занимает устройство для распыливания топлива – форсунка. Для распыливания водоугольного топлива используют, как правило, пневматические форсунки, в силу их относительной конструктивной и эксплуатационной простоты [2 – 4].

Форсунки должны удовлетворять ряду требований: обеспечивать надлежащий распыл топлива, создавать заданную форму капельного факела, иметь определенный диапазон возможного варьирования расхода топлива и т.д. К форсункам, используемым для сжигания ВУТ, предъявляются дополнительные требования. ВУТ представляет собой суспензию с содержанием твердой массы (угля) до 70%. При движении такой суспензии по узким каналам нередко происходит

запирание каналов. Кроме того, несмотря на достаточно высокую дисперсность частиц угля и кажущуюся пластичность суспензии, ВУТ является высокоэрозионным продуктом. Отсюда следует, что конструкции форсунок для ВУТ не должны иметь узких каналов и больших скоростей движения топлива вблизи стенок.

Для распыла ВУТ в топке котла РН-38 применена пневматическая форсунка, разработанная ИТ СО РАН совместно с ООО «ТеплоПром» [4].

КЕК ОФ «Северная» является отходом углеобогащения коксующихся углей. Для предотвращения заноса поверхностей нагрева спекшейся золой, а также увеличения температуры в зоне горения ВУТ для стабильного зажигания в топке котла смонтирован муфель. Схематично муфель представлен на рисунке 2.

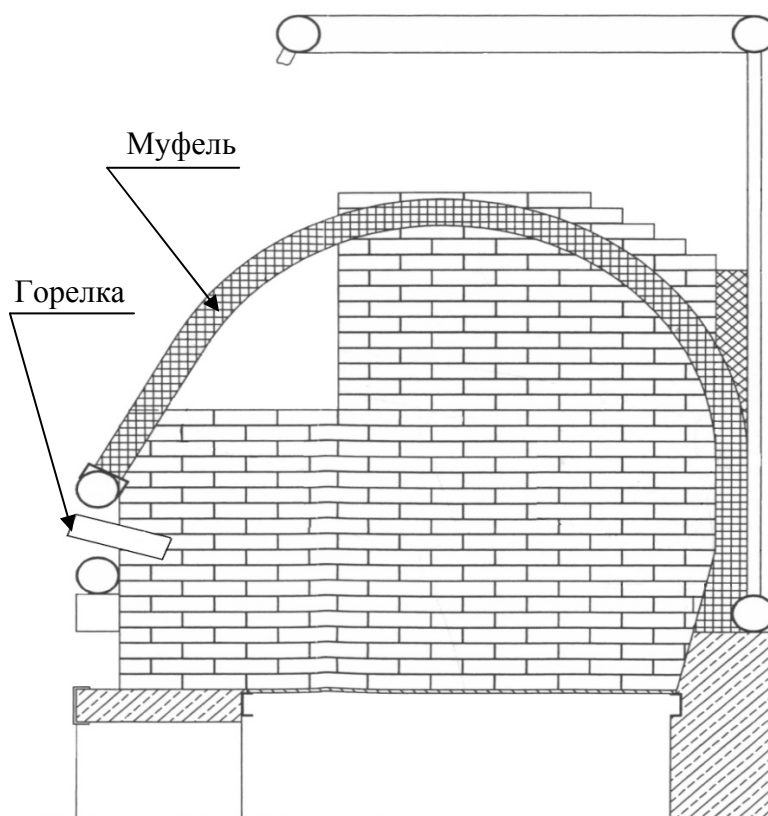


Рис. 2. Схема устройства муфеля котла РН – 38.

Испытания показали, что технология факельно-капельного сжигания водоугольной смеси над слоем горящего угля имеет хорошую перспективу, так как позволяет сжигать бросовые отходы углеподготовки с помощью подсветки слоевым сжиганием товарного угля в небольшой пропорции. В то же время эти испытания выявили и ряд новых вопросов. В частности, требуется доработка аэродинамики камеры сгорания и ее размеров, а также улучшение работы утилизатора тепла.

Одновременно с работой по внедрению технологии сжигания ВУТ на котельной ст. Барзас, специалисты ООО «ТеплоПром» перевели на ВУТ котел КЕ 10/14 на Мошковской районной котельной в Новосибирской области.

Котел был переоборудован по схеме, использованной ранее в котельной ООО «ТеплоПром» в пос. Матвеевка НСО [5, 6]. Вихревая топочная камера для сжигания водоугольной суспензии встроена внутрь котла. Сжигание ВУТ в котле, переведенном в водогрейный режим, производится без подсветки другими видами топлива. В качестве распылителя ВУТ использована пневматическая форсунка, описанная выше. Розжиг котла осуществляется топочным мазутом с постепенным переводом на полное сжигание ВУТ. Образовавшийся шлак в топке котла стекает в шлаковый бункер, откуда удаляется скребковым конвейером в общую систему золо-шлакоудаления. Топливо производится на Заводе стеновых блоков (ООО «ТеплоПром») и доставляется в Мошково автоцистернами.

В связи с повышенным содержанием влаги в ВУТ процессы воспламенения частиц угля затягиваются во времени, поэтому только организация вихревого режима течения внутри камеры сгорания позволяет решить поставленные задачи. Применяемая в котле вихревая топка обеспечивает достаточно большую продолжительность времени нахождения капель топлива в факеле, что гарантирует полноту выгорания ВУТ, а, следовательно, экономичность топочного устройства. Факел заполняет весь объем камеры сгорания, благодаря чему температура в камере в высокой степени однородна и, следовательно, максимальные значения температуры в камере могут быть понижены, что приводит к снижению выходу токсичных газовых выбросов, в частности оксидов азота.

Результаты теплотехнических испытаний котла Мошковской районной котельной на ВУТ показаны в таблице 2.

Таблица 2. Сводная ведомость результатов теплотехнических испытаний котла КЕ 10/14 Мошковской районной котельной, переведенного на сжигание ВУТ, приготовленного из кузнецких углей марки Г, Д.

№ п/п	Наименование показателей	Обозначение	Значение
1	2	3	4
Топливо			
1	Характеристика водоугольного топлива:		
1	2	3	4
	Общая влага, %	$W_t^r$	46,9
	Зольность рабочая, %	$A_d$	10,8
	Выход летучих веществ, %	$V^{daf}$	26,87
	Теплота сгорания сухого беззольного топлива, ккал/кг	$Q_s^{daf}$	8427
	Низшая теплота сгорания, ккал/кг	$Q_H^p$	4017
2	Расход топлива, кг/ч	$G_T$	1216,8
Вода			
3	Теплопроизводительность котла, Гкал/ч	$Q_k$	2,561
4	Расход воды через котел, м <sup>3</sup> /ч	$G_B$	184,2
5	Температура воды до котла, °С	$t_{вх.}$	51,8
6	Температура воды после котла, °С	$t_{вых.}$	65,7

Продукты горения			
7	Состав продуктов горения за котлом		
	Двуокись углерода, %	CO <sub>2</sub>	9,1
	Кислород, %	O <sub>2</sub>	11,7
	Окись углерода, ppm	CO	618,6
	Окись азота, ppm	NO	99,3
	Двуокись азота, ppm	NO <sub>2</sub>	1,6
	Сумма окислов азота, ppm	NO <sub>x</sub>	101,0
	Двуокись серы, ppm	SO <sub>2</sub>	103,0
8	Состав продуктов горения за экономайзером		
	Двуокись углерода, %	CO <sub>2</sub>	7,5
	Кислород, %	O <sub>2</sub>	13,3
	Окись углерода, ppm	CO	549,5
	Окись азота, ppm	NO	81,0
	Двуокись азота, ppm	NO <sub>2</sub>	0,7
	Сумма окислов азота, ppm	NO <sub>x</sub>	82,0
	Двуокись серы, ppm	SO <sub>2</sub>	88,0
Газовый тракт			
9	Коэффициент избытка воздуха за котлом	$\alpha_k$	2,26
10	Температура уходящих газов за котлом, °C	T <sub>у.г.к</sub>	205,80
11	Коэффициент избытка воздуха за экономайзером	$\alpha_3$	2,74
12	Температура уходящих газов за экономайзером, °C	T <sub>у.г.эк</sub>	128,95
Воздух			
13	Температура воздуха, поступающего на горение, °C	T <sub>в</sub>	22,2
Тепловой баланс			
14	Потери тепла с уходящими газами за котлом, %	q <sub>2к</sub>	15,0
15	Потери тепла с уходящими газами за экономайзером, %	q <sub>2эк</sub>	10,5
16	Потери тепла от химической неполноты сгорания за котлом, %	q <sub>3к</sub>	0,46
17	Потери тепла от химической неполноты сгорания за экономайзером, %	q <sub>3эк</sub>	0,50
1	2	3	4
18	Потери тепла с механическим недожогом общие, %	q <sub>4</sub>	4,7
19	Потери тепла с механическим недожогом шлака, %	q <sub>4<sup>шл</sup></sub>	3,2
20	Потери тепла с механическим недожогом уноса, %	q <sub>4<sup>ун</sup></sub>	1,5
21	Потери тепла с физическим теплом шлаков, %	q <sub>6</sub>	0,37
22	Потери тепла в окружающую среду нормативные, %	q <sub>5</sub>	1,10
23	КПД по обратному балансу за котлом, %	$\eta^{обр}$	78,40
24	КПД по обратному балансу за экономайзером, %	$\eta^{обр}$	82,82
25	Удельный расход натурального топлива на выработку 1 Гкал тепла, кг н.т./Гкал	B <sub>н</sub>	300,58
26	Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла, кг у.т./Гкал	B <sub>у</sub>	172,49

Таким образом, теплотехнические испытания показали КПД котла на уровне 83%, даже несмотря на повышенный избыток воздуха за котлом из-за нарушения плотности обмуровки. Приведение обмуровки котла в нормативное состояние улучшит технико-экономические параметры работы котла ориентировочно до 86 – 87%.

Проведенные работы по отработке технологии сжигания ВУТ в топках слоевых котлов позволяют сделать следующие выводы:

1. Стабильное сжигание ВУТ в муфельных топках котлов возможно как с подсветкой путем слоевого сжигания угля, так и без подсветки.
2. При переводе котлов на ВУТ значительно повышается КПД котлов и степень сжигания твердого топлива (на 25 и более процентов).
3. Несмотря на дополнительные затраты тепла на испарение влаги, содержащейся в ВУТ, энергетическая эффективность его сжигания выше слоевого сжигания топлива.

### Литература

1. Антипенко Л.А. Перспектива внедрения новой технологии выемки и обогащения шламов отстойников углеобогатительных фабрик: // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Тр. Международной конференции. – Кемерово, 1999. – С. 82-83.
2. Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Кравченко А.И., Самборский В.Е. Пневматическая форсунка для распыливания ВУТ // Сб. докл. VII Всероссийской конф. с межд. участием «Горение твердого топлива». Новосибирск, Россия, 10-13 ноября. – 2009. – Ч. 2. – С. 83-88.
3. Патент РФ № 2346756. Пневматическая форсунка. Автор: Мальцев Л.И. Опубликовано: 20.02.2009г.
4. Патент РФ № 2390386. Пневматическая форсунка. Авторы: Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Кравченко А.И., Самборский В.Е. Опубликовано: 27.05.2010г. Бюл. №15.
5. Алексеенко С.В., Мальцев Л.И., Саломатов В.В., Кравченко И.В., Кравченко А.И., Самборский В.Е. Топочное устройство для сжигания водоугольного топлива // Сб. докл. VII Всероссийской конф. с межд. участием «Горение твердого топлива». Новосибирск, Россия, 10-13 ноября. – 2009. – Ч. 2. – С. 4 -7.
6. Патент РФ № 2389945. Топочное устройство для сжигания жидкого топлива. Авторы: Мальцев Л.И., Алексеенко С.В., Кравченко И.В., Саломатов В.В., Кравченко А.И., Самборский В.Е. Опубликовано: 20.05.2010. Бюл. № 14.