УДК 662.76

ПРИМЕНЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЦИКЛОННЫХ ПРЕДТОПКОВ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАЛОМОЩНЫХ ТЕПЛОАГРЕГАТОВ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ИХ НА ВОДОУГОЛЬНОЕ ТОПЛИВО

Кузнецов А.С.

Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт «Углемеханизация», Луганск, Украина

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены эффективные пути перевода существующих теплоагрегатов малой мощности на работу на водоугольном топливе. Проведен анализ современного состояния теплоэнергетического оборудования на территории Украины. Показано, что номенклатура угольных и газовых маломощных котлов на большинстве предприятий энергетической отрасли практически одинакова, что обусловливает в перспективе расширение области применения вырабатываемых новых технических решений. Приведены результаты представительных опытно-промышленные и демонстрационных экспериментов по сжиганию ВУТ, как в топках кипящего слоя котлов, так и в камерных топках факельного сжигания совместно с углеводородным топливом.

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение в Украине из-за удорожания импортных ресурсов и собственного топлива стало определяющим фактором долгосрочной энергетической программы государства. В соответствии с основными направлениями энергетической стратегии до 2030 г за счет энергосбережения энергоемкость ВВП в 2030 г должна уменьшится в 2 раза - с 0,89 кг у.т./долл. до 0,41 кг у.т./долл. Наиболее эффективными и масштабными направлениями энергосбережения является отраслевое энергосбережение, включающее разработку и внедрение новых технологий и оборудования, совершенствование существующих технологий, сокращение расхода энергоносителей при сжигании топлива и др.

Способы и формы практической реализации отраслевого энергосбережения могут быть различными, однако в теплоэнергетике основные тенденции энергосбережения все четче обозначают неизбежный возврат к угольному топливу при условии значительного повышения эффективности его использования. Как упоминалось выше, номенклатура фактически применяющихся угольных теплоагрегатов на предприятиях угольной промышленности и их вероятная сохранность в перспективе обуславливают дальнейшее увеличение объемов использования твердого топлива. Поэтому для более эффективного использования угольных маломощных теплоагрегатов необходимо ускоренно искать пути решения задачи замены архаичных способов сжигания угля более прогрессивными способами. В этом плане необходимо будет также учитывать и фактор неизбежного удорожания угольного топлива вследствие естественного ухудшения условий подземной добычи и обогащения угля.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В УКРАИНЕ

В настоящее время в тепловом хозяйстве Украины работает около 100 тыс. котельных различного назначения, которые обеспечивают около 60 % общего производства тепловой

© Кузнецов А.С.

Таблица 1. Показатели эксплуатации некоторых котлов при слоевом сжигании

Типы тепло-агрегатов	Некоторые показатели на период обследования				
	Проект-ный срок службы, лет	Фактический срок эксплу-атации, (от – до), годы	Фактическая тепловая произ-води-тельность (от – до), Гкал/ч	Коэффициент полезного дей-ствия агрегата, (от – до), %	Механиче-ский недожог топлива, (от –до), %
ДКВР	25	20 - 50	4,0 – 12,0	50 - 75	25 - 35
«Ланкаширский»	25	26 - 55	1,0 – 1,2	50 - 75	20 - 30
Е 1/9	25	20 - 30	0,6	50 - 75	20 - 40
КЕ	25	6 - 28	1,1 –6,0	50 - 75	20 - 30
Надточия	20	20 – 30	0,7	55	20 – 30
Ревокатова	20	20 – 30	0,4 – 0,6	53	20 – 30
НИИСТУ-5	10	5 - 10	0,4 – 0,5	55	20 - 30

энергии. Основными видами топлива для них является природный газ (55-58 %), мазут (12-15 %), уголь (27-36 %).

По данным нашого выборочного обследования, охватывающего 651 котловой теплоагрегат предприятий Донецкой, Луганской и Волынской областей, преимущественное применение в котельных получили следующие котлоагрегаты: ДКВР – 182 шт. (28 %) ; Е 1/9 – 102 шт. (15,7 %); «Ланкаширский» - 145 шт. (22,2 %); КЕ – 67 шт. (10,3 %); Надточия, Ревокатова и НИИСТУ-5 - 155 шт. (23,8 %) тепловой мощностью от 0,5 до 10 Гкал/час.

Устаревшие конструкции и физический износ являются основной причиной низких эксплуатационных показателей маломощных котлов при слоевом сжигании угля, что следует из данных табл.1.

Тем не менее, как установлено, угольные теплоагрегаты сегодня являются основными (86,9 %) генераторами тепловой энергии на государственных предприятиях отрасли. В ближнесрочной перспективе подлежат переводу на угольное топливо агрегаты, используемые в настоящее время природный газ и мазут, в результате чего доля угольной теплоэнергетики в угольной промышленности может достигнуть 90 %. Уголь станет основным видом топлива. В связи с этим еще больше усилится определяющее влияние

Таблица 2. Показатели эксплуатации топочных устройств котлов устаревших конструкций

Наименование процесса или показателя	Значение			
	«Ланкаширский»	Е 1/9	«Надточия»	Ревокатова
1	2	3	4	5
Загрузка угля в топку	ручная	ручная	ручная	ручная
Выгрузка золы	ручная	ручная	ручная	ручная
Механический недожог, (от – до), %	20 - 30	20 - 40	20 - 40	20 - 30
Выбросы* в атмосферу				
(от – до), пыли, т/год	520	н.д.	н.д.	11,0 – 60,0
газов (NO_x; CO; SO_2), т/год	8,74; 0,84; 287	н.д.	н.д.	5-10; 9-28; 56-140

* при сжигании АРШ

физического износа и морального старения маломощных котлов на низкую эффективность теплогенерации в отрасли в целом. Невысокие эксплуатационные показатели агрегатов «Надточия», КЕ, Е, Ревокатова, НИИСТУ и ряда других, затраты на изготовление которых сравнительно небольшие, тем не менее не позволяют рассматривать их как новую технику, способную заменить изношенные.

Слоевые топки, работающие с низкой эффективностью топочного процесса в объеме топки над слоем, к тому же требуют при своем обслуживании высокого уровня ручных работ (загрузка топлива, выгрузка шлака и др.), характеризуются низкой ремонтопригодностью, высокими механическим недожогом и выбросами пыли и газов в атмосферу. К указанным недостаткам слоевого сжигания добавляется и невысокое тепловое напряжение колосниковых решеток 1,1÷1,8 МВт/м^2. Характеристики некоторых показателей маломощных агрегатов наиболее устаревших конструкций представлены в табл.2.

Более эффективным можно считать сжигание угля в топках кипящего слоя, однако объем применения этой технологии сегодня весьма ограничен (табл.3).

Номенклатура теплогенерирующих агрегатов котельных непромышленного назначения в регионе (коммунальные, бюджетные, социальные и др.) различной подчиненности в принципе представлены теми же агрегатами, что и в промышленных котельных. Однако удельный вес применения природного газа в тепловом балансе этой группы теплоагрегатов составляет 66,9 %, что в 4,18 раза больше чем в промышленных котельных угольной отрасли.

Обращает на себя внимание и тот факт, что номенклатура как угольных, так и газовых маломощных котлов на сопоставленных предприятиях практически одинакова, что обусловливает в перспективе расширение области применения вырабатываемых новых технических решений по оптимизации горения топлива. Это еще раз указывает на то, что замена импортных дефицитных видов топлива отечественным угольным топливом при значительном улучшении технологии его сжигания должна стать общегосударственной задачей. В силу специфических исходных условий такую замену целесообразно начинать, видимо, с теплогенерирующих предприятий угольной отрасли, располагающих, как правило, собственной сырьевой базой, сложив-

Таблица 3. Распределение теплоагрегатов с топками НТКС и ВТКС по предприятиям

Наименование государственного предприятия	Топки НТКС		Топки ВТКС	
	Типы котлов	Количество, шт.	Типы котлов	Количество, шт.
Антрацит	КВФ 5,4/	2	-	-
Донбассантрацит	КВФ 5,4/	9	-	-
Добропольеугль	-	-	Воздухонагревательная установка	2
Артемуголь	ДКВР 10/13 КЕ 10/14	4	-	-
Селидовуголь	н.д.	2	-	-
Свердловантрацит	КЕ 6,5/14	2	КЕ 6,5/14	2
Ровенькиантрацит	КВФ	4	ДКВР 10/13 Суш. установка	2 2
Торезантрацит	КВТС ДКВР 10/13	5	-	-
Орджоникидзеуголь	ДКВР 6,5/13 КЕ 6,5/14	3	-	-
Шахтерскантрацит	ДКВР 6,5/13	1	ДКВР 10/13	2
ш. Южнодонбасская №1	КВФ	5	-	-
Всего		37		10

шейся транспортной и энергетической инфраструктурой, территориальной близостью объектов и т. д.

В качестве обоснования нашего предложения о целесообразности сжигания угля в виде водоугольного топлива повторимся о том, что в газовых или газомазутных котлах сжигание газа или мазута происходит в факеле распыленного исходного топлива и окислителя, заполняющего камеру сгорания топки. Наиболее широкое применение для ввода и распыления топлива нашли горелки ГМГ-4 и их модификации. Водоугольное топлив (ВУТ) представляет собой тонкодисперсную смесь угля, воды и пластификатора, по многим физико-механическим качествам близкое к мазуту и, как установлено многочисленными экспериментами, легко распыляется горелками ГМГ-4 при практическом сохранении воздухоподающих устройств, регулирующей и измерительной аппаратуры. Это обстоятельство позволяет охватить применением ВУТ наиболее распространенные малопроизводительные котлы, оборудованные газомазутными горелками, при замене газа альтернативным угольным топливом. Воспламенение ВУТ, как и мазута или газа, при правильной организации процесса, происходит у среза сопла, образовавшийся топливный факел заполняет топочное пространство и равномерно сгорает в его объеме. В случае необходимости или для стабилизации процесса горения имеется техническая возможность подсветки ВУТ основным видом топлива. Однако перевод на ВУТ газовых котлов требует решения задачи улавливания летучей золы, организации удаления данной золы, некоторых вопросов управления и контроля за процессом горения и др.

В углепромышленных регионах Украины сосредоточены, в основном, добывающие и обрабатывающие предприятия строительной индустрии, использующие в своем производстве тепловую энергию (сушка сырья, обжиговые печи и др.). В связи с необходимостью замены природного газа углем в этих производствах появляется задача использования глубоко деминерализованного высококалорийного топлива и недопущения засорения летучей золой материала, подвергающегося сушке. Эта задача созвучна и для случаев замены природного газа угольным топливом в агрегатах коммунальных отопительных систем городов и поселков, т.к. здесь требуется не только уменьшение себестоимости выработки тепла, но и недопущение выбросов пыли и газов в атмосферу сверх нормативных.

Исходя из вышеизложенного, принципиально важным для малой и средней теплоэнергетики является переход от прямого (слоевого) сжигания твердого топлива угля к сжиганию искусственных жидких топлив на его основе. Одним из таких искусственных и эффективно сжигаемых топлив в мировой практике считается водоугольное топливо (ВУТ). Уголь или отходы его обогащения, приведенные в состояние ВУТ, становятся более универсальными, доступными и эффективными в плане их применения в малой теплоэнергетике, что может способствовать продлению сроков эксплуатации и улучшению эксплуатационных показателей физически и морально устаревших, но находящихся в эксплуатации теплоагрегатов.

ОПИСАНИЕ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Сегодня ПАО НИПКИ «Углемеханизация» пытается развивать известные наработки, конкретизировать и реализовывать практическую часть технологии приготовления и сжигания ВУТ применительно к маломощным теплоаграгатам.

Впервые в Украине проведены представительные опытно-промышленные и демонстрационные сжигания ВУТ, как в топках кипящего слоя котлов, так и в камерных топках факельного сжигания совместно с углеводородным топливом.

Испытаниями показана принципиальная возможность создания, размещения и применения вне котлов специализированных предтопков (форкамер), присоединенных к действующим маломощным котлоагрегатам и создающих совместно с ними установки 2-х ступенчатого сжигания ВУТ.

Остановимся несколько подробнее на полученных результатах.

На рис.1 показан общий вид испытательного стенда, представляющий установку 2-х ступенчатого (2-х зонного) сжигания ВУТ.

Ниже представлены условия проведения и результаты опытных сжиганий.

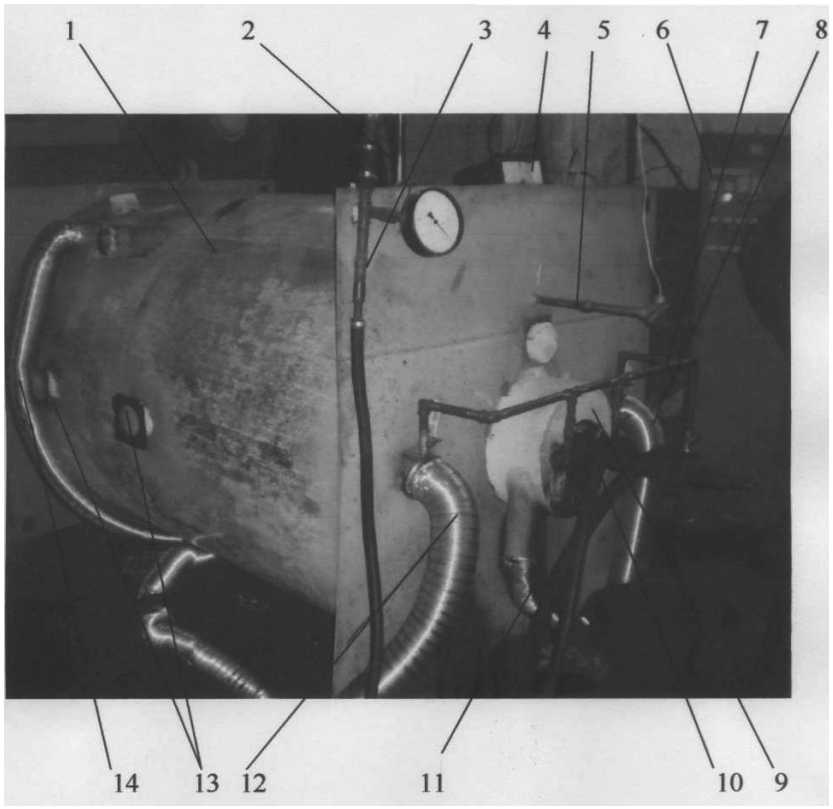

Рис.1 Общий вид горизонтального циклонного предтопка.

1 - корпус реактора;
2 – термопара;
3 – рукав компресорного воздуха;
4 – тягонапоромер;
5 – термопара;
6 – шкаф управления;
7 – разводка трубопроводов растопочного топлива;
8, 12, 14 – рукава подачи воздуха на форсунки розжига;
9 – завихритель ВУТ;
10 – горелка ВУТ;
11 - подача воздуха на завихритель;
12, 14 – воздуховоды дутьевого воздуха;
13 - смотровые окна.

Циклонный горизонтальный реактор
Тепловая мощность, Гкал/час, от - до - 1,7 – 3,7. Измерительные приборы расхода, давления и температуры.

Расход ВУТ определялся расходомером - ВРЛ 2304. Температура в камере сгорания и обмуровке реактора измерялась термопарами - ТП 0198 со вторичным прибором ТРМ200.

Расход воздуха компрессионного определялся - датчик – «метран» 100 ДД63Кпа модель 1422 со вторичным прибором ТРМ200.

Расход воздуха дутьевого определялся - датчик давления дифференциальный MPXV7002 DP фирмы freescale со вторичным прибором ТРМ200.

Характеристика котла Е1/9 (2-я ступень сгорания ВУТ).

Проектное топливо - уголь.Объем топочного пространства, м^3 - 1,98.Форкамера с топкой НТКС - 1 шт. (отключена).

Организация проведения и объем опытных сжиганий.

К опытному сжиганию были подготовлены следующие виды ВУТ (табл.4).

Опытные сжигания ВУТ осуществлялись с использованием существующей, но существенно модернизированной под новые условия инфраструктуры опытно-промышленного стенда ГОАО НИПКИ «Углемеханизация» (пос. Юбилейный).

Таблица 4. Виды ВУТ

Наименование ВУТ	Зольность, %	Состав топлива
ВУТ А	4,10	ВУТ А
ВУТ ДГ(Г)	20,00	ВУТ ДГ(Г)
ВУТ Ж	12,46	ВУТ Ж
ВУТ А + ВУТ ДГ(Г)		ВУТ А с добавками ВУТ ДГ(Г) в количестве 5, 10, 15 % по массе
ВУТ А + ВУТ Ж	5,75-8,10	ВУТ А с добавками ВУТ Ж в количестве 5, 10, 15 % по массе

© Кузнецов А.С.

С целью экономии дизельного топлива и сокращения количества разогревов муфельного реактора в каждой из серий опытных сжиганий производилось сжигание не менее 3-х видов ВУТ, заблаговременно подготовленных согласно методики. В результате в течение 15 серий испытаний было осуществлено 22 сжигания ВУТ общим объемом около 950 л.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНЫХ СЖИГАНИЙ

Проведение опытных сжиганий осуществлялось в три этапа:

1. Подготовка стенда, топлива, системы воздухо- и топливоподачи;
2. Разогрев муфельного реактора;
3. Сжигание ВУТ

Подготовка стенда, топлива, систем воздухо- и топливоподачи заключалось в осмотре стенда на предмет определения состояния обмуровки, отсутствия скопления остатков сжигания топлива и посторонних предметов в камере сгорания. Определялось состояние ВУТ с отбором проб и определением качественных показателей, определялась путем включения насосов, вентиляторов герметичность систем воздухо- и топливоподачи.

Кроме инструментальных измерений параметров сжигания, производились визуальные (через смотровые окна) наблюдения процесса горения: изменений интенсивности факельно-вихревого вращения смеси до и после ввода ВУТ, после отключения подачи дизтоплива; изменения плотности и цвета пламени; изменения характера горения газов на 2-й ступени (топка котла Е1/9) и др.

После выполнения всего объема испытаний в соответствии с планом эксперимента, прекращалась подача ВУТ. Подача вентиляторного воздуха прекращалась при достижении температуры в реакторе 450-500 ºС. При достижении указанной температуры выключались вентилятор и дымосос.

Краткие результаты испытаний

При проведении сжиганий использовались опытные партии водоугольного топлива, общая характеристика которых представлена в табл.4. При сжиганиях значение расходов ВУТ изменялись в пределах 80-120 л/час; компрессионного воздуха – от 67 до 130 м^3/час; подача воздуха на завихритель колебалась в пределах – 270 – 480 м^3/час; расход дутьевого воздуха составил – 48 – 168 м^3/час. Стабилизация горения всех видов водоугольного топлива наступала при температуре от 740 до 1205 ºС.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Выводы.

Выполненные экспериментальные исследования и опытные сжигания водоугольного топлива в циклонном горизонтальном предтопке позволяют установить следующее.

1.1 Низкозольный антрацит (A^d = 4,1 ± 0,5 %) может рассматриваться как потенциальное сырье для приготовления ВУТ и его факельно-вихревого сжигания вместо природного газа или мазута.

1.2 Для сжигания низкозольного антрацита в виде ВУТ разработана специальная технология его приготовления с использованием шаровых мельниц (промышленной и лабораторной).

1.3 Качественная характеристика водоугольного топлива, изготовленного на основе низкозольного антрацита (A^d = 4,1 ± 0,5 %) представлена следующим образом:

вязкость – 1,6 - 1,9 Па.с;

концентрация – 63,35 %;

теплотворная способность – 4226 ккал/кг (5751 ккал/л).

текучесть – нормальная;

седиментационная устойчивость – 5 - 7 суток;

1.4 Приготовление ВУТ из углей марок Ж и ДГ (Г), рассматриваемых как улучшающие реакционные свойства ВУТ из антрацита зольностью 4,1 ± 0,5%, отличается от технологии приготовления ВУТ из основного сырья лишь продолжительностью мокрого помола и величиной добавки пластификатора.

1.5 Приготовление композитных водоугольных топлив несложно и представляет собой механическое перемешивание отдельно приготовленных ВУТ.

1.6 Муфельный цилиндрический реактор представляет собой специализированное устройство для реализации 1-й ступени сжигания ВУТ при факельно-вихревом сжигании, его применение целесообразно в сочетании с котлом, в котором бы осуществлялось догорание газов (2-я ступень).

1.7 Факельно-вихревое сжигание ВУТ в камере цилиндрического реактора, система подачи и регулирования, приборного контроля расхода воздуха обеспечивают возможность оперативного управления количеством воздуха в каждый момент времени в зависимости от подачи ВУТ, его концентрации и теплотворной способности.

1.8 Обоснованный объем камеры сгорания, диаметр и длина реактора, система факельно-вихревого ввода ВУТ и воздуха в камеру фактически обеспечили стабильность процесса и высокую эффективность горения, характеризующейся степенью выгорания углерода 97 - 99 %.

1.9 Средняя продолжительность разогрева муфельного реактора составила 35- 40 мин.; средний расход дизтоплива на разогрев топки составил 40 л.

1.10 Расход ВУТ на основе низкозольного антрацита при испытаниях колебался от 61 до 118 л/час; отсутствие полезного теплоотбора при сжигании ограничивало фактическое наращивание тепловой мощности до максимальной.

Предложения.

1. Опытное освоение технологи приготовления ВУТ на основе низкозольных антрацитов (A^d = 4,1 ±0,5 %), а также смесей с высокореакционными углями и эффективное сжигание этого топлива в горизонтальном циклонном предтопке позволяет утверждать, что в Украине найдено новое топливо, альтернативное природному газу. Показана техническая возможность практического сжигания ВУТ вместо природного газа, прежде всего, в топках теплоагрегатов, в которых можно организовать факельно-вихревое горение этого топлива, а также обустройства систем 2-х ступенчатого сжигания ВУТ при широком использовании в этих системах маломощных угольных котлоагрегатов.

2. При решении вопросов практической замены природного газа водоугольным топливом на основе низкозольного антрацита предварительно необходимо:

- выполнить укрупненную технико-экономическую оценку мероприятий по замене природного газа водоугольным топливом;
- осуществить оценку влияния на окружающую природную среду замены одного вида топлива другим;
- определиться с заводом-поставщиком о поставках современного размольного оборудования (например, вибромельниц типа ВМ-400, Казахстан) или оборудования украинского производства.

3. Параллельно с изложенным в п. 2 целесообразно, по нашему мнению, продолжить выполнение НИОКР по направлениям:

- изыскание жаропрочных материалов и создание долговечных форсунок и горелок;
- установление предельных максимальных значений зольности обогащенного антрацита для приготовления ВУТ по испытанной технологии;
- автоматизация процессов приготовления ВУТ и управления процессами его сжигания в цилиндрическом муфельном реакторе;
- исследование процесса теплопередачи в реальных котлоагрегатах;
- определение параметров горения в 1-й и 2-ой ступени;
- уровень механического и химического недожога.

4. Использование в теплоэнергетике антрацита вместо природного газа позволит увеличить долю угля в энергетическом балансе Украины и снизить его профицит, а применение горизонтальных циклонных предтопков разработанной нами конструкции в сочетании с действующими маломощными теплоагрегатами – продлить на 8 – 12 лет сроки их эксплуатации.