

ковский городской голова Геннадий Кернес, председатель Харьковской облгосадминистрации Михаил Добкин, председатель Харьковского областного совета Сергей Чернов, а также министр регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины Геннадий Темник, посетил котельную по ул. Шевченко, 301а, ознакомился с работой опытного оборудования и высоко оценил его работу. Во время брифинга сообщил, что новый котел является образцом технологий европейских стандартов. «За такими программами будущее европейского жилищно-коммунального хозяйства. Нужно отметить, что это не импортное, а отечественное оборудование. И именно в отечественное производство мы должны вкладывать максимально много средств» – отметил вице-премьер-министр.

Полученные положительные результаты показывают на необходимость дальнейшего проведения реконструкции котельной с демонтажем котлов НИИСТу-5 и установкой дополнительных котлов КВМУ-1,25Гн, что позволит сократить потребление природного газа. Кроме того, наладка серийного производства котлов данной конструкции с широким диапазоном производительности и последующее массовое их применение позволит развить отечественное машиностроение, металлургическую и смежные отрасли, что обеспечит создание новых рабочих мест.

## **СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА СЛОЕВЫМ СПОСОБОМ С ДВУМЯ ЗОНАМИ ПИРОЛИЗА В ГЕНЕРАТОРАХ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ**

*Кириленко И.Г., КП «Харьковские тепловые сети»*

Сжигание твердого топлива может проводиться разными способами, но наиболее часто в котлах малой мощности используется слоевой способ сжигания твердого не измельченного топлива на неподвижных колосниковых решетках с подачей дутьевого воздуха по схеме «снизу – вверх». При этом над колосниковой решеткой образуются следующие условные зоны: зона горения, зона пиролиза, и зона сбора продуктов сгорания и частичного дожигания продуктов пиролиза топлива.

В зоне горения создается наиболее высокая температура, при которой сгорает кокс топлива. За счет разного сопротивления по площади слоя топлива воздух неравномерно поступает и распределяется по площади зоны горения, поэтому температура по площади и по объему

зоны горения не одинаковая. Это влияет на полноту и скорость сгорания топлива.

Из зоны горения дымовые газы и воздух, не участвующий в реакциях горения (проскок), поступают в зону пиролиза, где происходит нагрев топлива и влаги, испарение влаги и пиролиз топлива. В процессе пиролиза из твердого топлива выделяются газообразные (углерод  $C$ , водород  $H$ , азот  $N$ , кислород  $O_2$  и другие), парообразные компоненты (пары воды  $H_2O$ , пары смол), а также твердые компоненты (кокс и негоряемые минеральные примеси – зола).

Учитывая пористую структуру топлива, очевидно, что граница между зонами горения и пиролиза представляет собой условную поверхность с выступами и провалами. Форма границ раздела зон обусловлена взаимодействием фронта температур и фронта влажности топлива.

Продукты пиролиза частично сгорают на границе зон горения и пиролиза, часть паров и газов конденсируется или адсорбируется холодными верхними слоями топлива, а значительная часть газов газифицированного топлива вместе с дымовыми газами попадает в зону дожигания продуктов пиролиза. Так как в этой зоне температура в потоке газов и оставшийся свободный кислород распределены неравномерно, то дожигание газов происходит локально и неэффективно. Негоревшие продукты пиролиза уносятся дымовыми газами в атмосферу.

При сжигании измельченного твердого топлива потоком дымовых газов уносятся из топки мелкие частицы топлива.

Выброс в атмосферу части продуктов пиролиза топлива приводит к снижению КПД генераторов тепловой энергии (ГТЭ) за счет химического недожога. Величина таких потерь тепловой энергии зависит от конструкции топки ГТЭ и составляет 10-25% от количества тепловой энергии, которая может выделиться при полном сгорании топлива.

Величина потерь теплоты за счет механического недожога (унос частиц топлива из топки) зависит от вида топлива и конструкции топки. При сжигании отходов переработки сельхозпродукции (лузги подсолнечника, отходов переработки крупяных и зерновых сельхозпродуктов, отходов переработки древесины и других материалов) потери теплоты от механического недожога могут составлять более 5%.

Как правило, дымовые газы выбрасываются в атмосферу с температурой выше температуры точки росы, что исключает конденсацию паров воды, содержащихся в дымовых газах, в дымоотводящих трактах. Температура продуктов сгорания топлива, удаляемых от котлов котельных жилищно-коммунальных предприятий составляет 120-

160°C и зависит от конструкции и протяженности газозвдушного тракта, конструкции и высоты дымовой трубы.

Общие потери тепловой энергии в существующих котлах могут достигать 40-50% от теплотворной способности топлива.

Чтобы уменьшить потери тепловой энергии и повысить КПД генераторов тепловой энергии Шушляковым А.В., Шушляковым Д.А. и др. (Патент Украины № 49221. Генератор тепловой энергии. Опубликовано 26.04.2010. Бюл.№8.) был предложен способ и конструкция ГТЭ с двумя зонами пиролиза. Предложенный способ слоевого сжигания топлива отличается тем, что воздух при горении топлива нагревается выше температуры пиролиза топлива и подается равномерно на слой топлива по схеме «сверху-вниз». При этом в слое топлива образуется четыре зоны: первая зона пиролиза, зона сушки топлива, вторая зона пиролиза и зона горения. Продукты сгорания топлива удаляются из зоны горения через охлаждаемую колосниковую решетку. Границами перечисленных зон считается условная поверхность с постоянной температурой. На рисунке показана схема распределения зон процесса горения топлива.

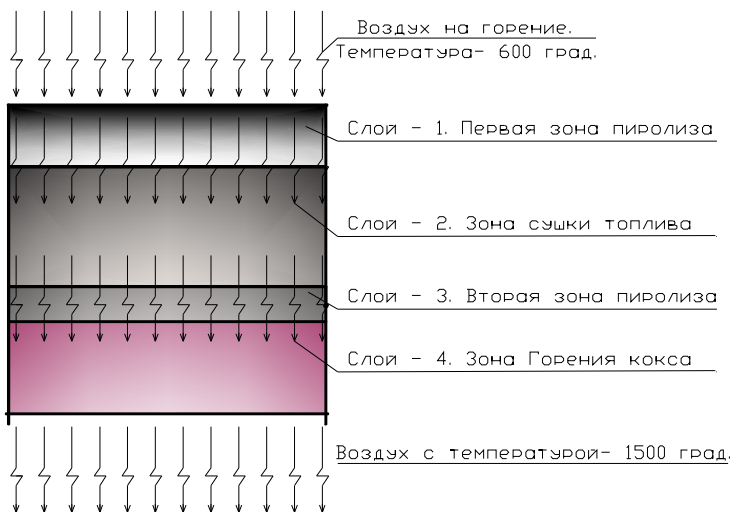
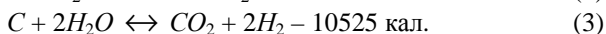
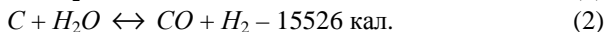


Схема слоевого сжигания топлива с двумя зонами пиролиза

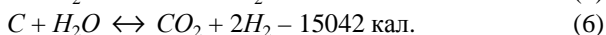
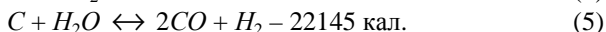
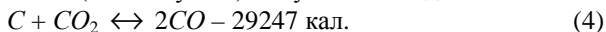
В первой зоне пиролиза происходит нагрев топлива и влаги, испарение влаги и пиролиз высохших частиц топлива. При постоянной механизированной подаче и равномерном распределении топлива (щепы,

пеллет и др.) крупные частицы подвергаются пиролизу только на поверхности частиц.

Химическая реакция взаимодействия углерода с кислородом протекает по следующим уравнениям при температуре дутьевого воздуха менее 500°C:



В процессе движения дутьевого воздуха через первую зону пиролиза его температура понижается. При температуре менее 300°C реакция взаимодействия углерода с другими компонентами продуктов пиролиза во втором слое (в зоне сушки) могут иметь вид:



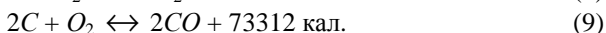
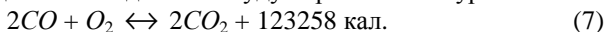
Анализ уравнений (1) – (6) позволяет считать, что при более низких температурах реакции углерода имеют более низкую свободную энергию. На образование новых соединений затрачивается энергия, что приводит к снижению температуры газозвушной смеси.

Во втором слое (в зоне сушки) продолжается извлечение влаги из крупных частиц топлива. Так как влагосодержание в частицах топлива уменьшается, сопротивление диффузии влаги к поверхности частиц увеличивается.

Реакция взаимодействия углерода с парами воды в основном протекает по уравнениям (5) и (6). При приближении ко второй зоне пиролиза температура топлива повышается за счет теплопроводности частиц топлива, концентрация пара у поверхности частиц будет приближаться к концентрации пара в газозвушной смеси. Из-за уменьшения разности концентраций водяного пара скорость сушки и процесс массообмена снижается.

Размер (высота) зоны сушки ограничен условными поверхностями с постоянными температурами. Верхняя граница второго слоя и нижняя граница первого слоя (зоны первого пиролиза) совпадают.

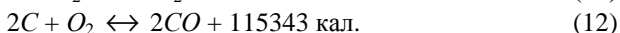
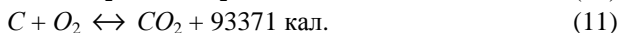
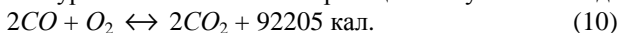
Значения температуры во второй зоне пиролиза изменяются в пределах  $400^0\text{C} - 450^0\text{C} < t_{233} < 700^0\text{C} - 750^0\text{C}$ . При этом химические реакции углерода и его соединений будут протекать по уравнениям:



Реакции (8) и (9) при температурах менее 700°C имеют более низкую свободную энергию, но при повышении температуры (в зоне горения) скорость реакции и величина свободной энергии резко возрастают.

Нижней границей зоны горения является колосниковая решетка. Температура в зоне горения находится в пределах 750°C ÷ 1500°C. В слое раскаленного кокса температура может достигать 1800°C.

В зоне горения уравнения химических реакций могут иметь вид:



Анализ процессов пиролиз, сушки и горения позволяет считать, что при разных температурах газовой смеси реакции взаимодействия могут протекать «слева – направо» или «справа – налево». При этом значение свободной энергии может изменяться от (- 29247 кал) до (+ 123258 кал).

Чем выше температура газовой смеси, тем больше скорость реакции горения, доля  $CO_2$  и количества свободной энергии, а при низких температурах скорость реакции горения замедляется, увеличивается доля  $CO$  и уменьшается значение свободной энергии. Затраты теплоты на испарение влаги значительно выше количества скрытой теплоты парообразования. Разница энергии расходуется на разрушение молекулярных связей воды в топливе и на извлечение и диффузию молекул воды из топлива.

Скорость процесса горения зависит от вида и состава топлива, влажности, наличия молекул свободного кислорода и температуры. Будем считать, что топливо однородное, состав топлива не изменяется, процесс горения установившийся, загрузка и распределение топлива организованы так, что интервал подачи топлива не влияет на характер рассматриваемых процессов в слое топлива. Тогда скорость процесса горения будет зависеть от скорости фронта влажности и скорости фронта температур.

Используя высокую температуру дутьевого воздуха в первой зоне пиролиза и на входе в зону сушки, обеспечиваем интенсивную сушку материала. Повышение температуры топлива в нижней части зоны сушки и во второй зоне пиролиза позволяет извлекать влагу, находящуюся в химически связанном состоянии

Скорость распространения фронта влажности в слое топлива зависит от температуры. В свою очередь скорость распространения фронта температуры зависит от влажности топлива. Если влажность топлива значительная (30-50%), то может наступить такой адиабатиче-

ский процесс сушки топлива, при котором температура топлива и газов будет постоянной, равная температуре мокрого термометра.

Учитывая то, что при сжигании топлива слоевым способом с двумя зонами пиролиза и подаче горячего воздуха по схеме «сверху – вниз», в зону горения будут поступать (подготовленные для горения) кокс и продукты пиролиза топлива. Скорость горения топлива при этом будет больше скорости горения при слоевом сжигании топлива и подаче не подогретого воздуха по схеме «снизу – вверх». КПД генератора тепловой энергии новой конструкции увеличивается до 95-96%. Экологическая эффективность этих ГТЭ значительно повышается, так как отсутствует химический и механический недожог, уменьшаются выбросы оксидов азота, отсутствуют выбросы бенз(а)пирена, оксидов серы и других загрязняющих примесей, содержащихся в топливе и в дутьевом воздухе.

Таким образом, способ слоевого сжигания топлива с двумя зонами пиролиза обеспечивает сушку и полную газификацию топлива до поступления топлива в зону горения. В зону горения поступают горячая высокотемпературная газозвдушенная смесь и разогретый кокс, что обеспечивает увеличение скорости горения топлива, исключает химический и механический недожог, повышение КПД ГТЭ.

Отсутствие свободного кислорода в зоне горения снижает образование оксидов азота, а высокая температура слоя кокса исключает выбросы загрязняющих веществ, способных гореть, что обеспечивает повышение экологической эффективности.

Новая конструкция ГТЭ с двумя зонами пиролиза позволяет снизить расход традиционных видов топлива. Такая конструкция ГТЭ имеет меньшие габариты (при прочих равных параметрах) и может вырабатывать тепловую энергию при сжигании любого топлива, в том числе, отходов.

## **КОМБИНИРОВАННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

*Шушляков Д.А., Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова*

*Шушляков А.В., Чернокрылюк В.В., Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

Комбинированные генераторы тепловой энергии (КГТЭ), – это генераторы, в которых одновременно или поочередно может сжигаться топливо, находящееся в разных агрегатных состояниях, например,