

БЕСПЛАТНО

2 109 5 А
Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Ленинградский ордена Ленина политехнический институт
имени М. И. Калинина

На правах рукописи

Фр 213
1331

Е. Б. ГУСАКОВСКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПКИ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ
С ОБРАЩЕННЫМ ДУТЬЕМ ПРИ СЖИГАНИИ
ВЫСОКОВЛАЖНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ
С ПОВЫШЕННОЙ ЗОЛЬНОСТЬЮ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ**

(05.189 — парогенераторостроение и турбостроение)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1970

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР
Ленинградский ордена Ленина политехнический институт
им. М. И. Калинина

Е. Б. ГУСАКОВСКИЙ

Фр $\frac{213}{1331}$

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПКИ СКОРОСТНОГО
ГОРЕНИЯ С ОБРАЩЕННЫМ ДУТЬЕМ ПРИ СЖИГАНИИ
ВЫСОКОВЛАЖНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ
С ПОВЫШЕННОЙ ЗОЛЬНОСТЬЮ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ

(05.189 — парогенераторостроение и турбостроение)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1970



21096

Работа выполнена на кафедре парогенераторостроения Ленинградского ордена Ленина политехнического института им. М. И. Калинина.

Научный руководитель — профессор, доктор технических наук *В. В. Померанцев*.

Официальные оппоненты: доктор технических наук *А. К. Леонтьев*, кандидат технических наук *С. Л. Шагалова*.

Ведущее предприятие

Автореферат разослан «...» 1970 г.

Защита диссертации состоится «...» 1970 г. на заседании совета энергомашиностроительного факультета Ленинградского ордена Ленина политехнического института им. М. И. Калинина (Ленинград, К-251, Политехническая, 29).

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке института.

Ученый секретарь совета энергомашиностроительного факультета *М. Д. Вайсман*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПКИ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ С ОБРАЩЕННЫМ ДУТЬЕМ ПРИ СЖИГАНИИ ВЫСОКОВЛАЖНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЗОЛЬНОСТЬЮ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ

Одним из наиболее существенных способов повышения надежности работы парогенераторов является создание малогабаритного высокофорсированного топочного устройства.

Наряду с вихревыми и циклонными топками огромными возможностями в повышении форсировок горения обладают слоевые топки. Слоевой метод сжигания, как известно, имеет ряд преимуществ: высокая концентрация топлива в объеме слоя, большие относительные скорости потока и частиц, высокая адиабатичность слоя, сжигание топлива практически любого фракционного состава.

В создании высокофорсированных слоевых топок особенно нуждается малая энергетика. Десятки тысяч котлов паропроизводительностью до 100 т/час работают на электростанциях и промышленных котельных. Даже небольшое снижение металлоемкости и увеличение КПД топки позволит экономить тысячи тонн металла и миллионы тонн топлива.

Чрезвычайная разбросанность предприятий, имеющих малые котельные, и их удаленность от источников государственного энергоснабжения ставит, кроме того, задачу всемерного использования местных топлив, среди которых особое место занимают отходы производства, ибо их утилизация решает не только энергетические проблемы предприятий, но и проблему борьбы с засорением территории, водоемов и удаления отходов с предприятия.

Особенно много отходов, употребляемых в качестве топлива, скапливается на предприятиях целлюлозно-бумажной, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Причем имеет место тенденция к употреблению в качестве топлива

низкокачественных древесных отходов, например коры. Специфические свойства коры — высокая влажность и зольность, плохая сыпучесть — обуславливают создание специальных топочных устройств для ее сжигания. Кафедра парогенераторостроения Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина предложила для сжигания коры скоростную топку с обращенным дутьем. Результаты исследования работы такой топки и опыт ее наладки изложены в данной работе.

В СССР при заготовке древесины и ее переработке получается ежегодно более 200 млн. м³ различных древесных отходов. Часть из них используется в целлюлозно-бумажном производстве, в гидролизной, лесохимической промышленности. Но значительное количество древесных отходов используется в качестве топлива.

Древесное топливо, как известно, принадлежит к разряду молодых топлив с большим выходом летучих, с содержанием 50% углерода и 42% кислорода на сухую массу. В коре несколько меньше летучих и значительно больше золы. Причем зольность повышена не столько за счет увеличения минеральной составляющей древесной массы, сколько за счет загрязнения ее при вывозе из леса. Влажность коры, этот основной фактор трудности сжигания, зависит в основном от способа доставки и окорки древесины. При мокрой окорке она достигает 80—85%. Поэтому кору перед сжиганием отжимают. И все же ее влажность колеблется в пределах 57—65%, что вынуждает для ее сжигания применять специальные топки.

Для сжигания древесных отходов применяются различные топки: с горизонтальной решеткой, кучевые, шахтные, с наклонной решеткой; производится сжигание во взвешенном состоянии в топках с U-образным факелом, в вихревых и циклонных топках. Предусматриваются специальные условия для сжигания топлива с высокой влажностью. Слоевые топки отделяются от камеры охлаждения, имеют низкие своды, способствующие сушке и розжигу топлива. Практикуется предварительная подсушка топлива. В последнее время и в нашей стране и за рубежом проявляется тенденция к строительству крупных многотопливных котлов, например котлы типа Tampella, КМ-75.

Кора в большинстве случаев сжигается на наклонной решетке. Но такие топки отличаются большим механическим недожогом. Даже в современных котлах Tampella механический недожог составляет 14%, а на котле КМ-75 — до 18%. В этих топках преимущества слоевого процесса используются слабо. Теплонапряжение слоя не превышает 1 млн. ккал/м²·час. Топки очень громоздки, плохо управ-

ляются, работают с низким КПД. Одним из способов повышения эффективности слоевых топок является переход на «зажатый» слой, примененный в топке скоростного горения системы В. В. Померанцева.

Скоростная топка ЦКТИ системы В. В. Померанцева основана на разделении этапов сжигания летучих и кокса, что обеспечивает интенсификацию этих процессов. В стадии подготовки процесс форсируется за счет нижнего неограниченного воспламенения свежего топлива, навстречу которому из зоны активного горения направляется часть горячих газов, а в стадии активного горения — за счет искусственного повышения аэродинамической устойчивости слоя с помощью зажимающей решетки. Воздух подается к слою топлива, которое прижимается к трубной решетке. Это дает возможность получать теплонапряжения плоскости подачи дутья до 10—15 млн. ккал/м²·час. Преимуществом топки является также возможность работы по энергохимическому циклу.

Скоростные топки выпускаются с серийными котлами типа ДКВр Бийским котельным заводом. Белгородский котельный завод выпускал котлы типа Д-9 со скоростными топками. Кроме того, в порядке реконструкции скоростные топки были установлены на котлах различной мощности — от локомобильных до котлов паропроизводительностью 60—70 т/час. При наладке топок имели место застревание топлива при движении по рукавам и коксование решетки. Застревание топлива в значительной мере было уменьшено путем разгрузки столба топлива в ступенчатых и каскадных рукавах. Однако топливо, содержащее значительное количество влажной коры (более 60%), в таких рукавах все же застревало. Коксование решетки ликвидировали путем уменьшения толщины слоя топлива в зоне активного горения подвижными пережимами.

Испытания топок показали эффективность их работы. Теплонапряжения плоскости подачи дутья были 8—11 млн. ккал/м²·час на крупных котлах и 2—2,5 млн. ккал/м²·час на малых котлах. Потери с механическим недожогом не превышали 4%. КПД крупных котлов составлял 85—90, а мелких — 70%. На базе скоростной топки сооружена энергохимическая установка на заводе «Вахтан», которая работает уже около двух десятилетий и выдает, кроме пара, смолу, уксусно-кальциевый порошок, копильный препарат, литейный крепитель.

Однако крупным недостатком скоростной топки, ограничивающим широкое ее распространение в котельной технике, является отсутствие непрерывного золоудаления. Зола накапливается в зоне горения и удаляется вручную. При сжигании высокозольного топлива зона активного горения за-

шлаковывается. Например, на котлах Архбумкомбината паропроизводительностью 40 т/час при работе на одной коре топки зашлаковывались через 15—20 дней. Поэтому для топлива с высокой зольностью такие топки неприемлемы. Необходимо создать топочное устройство, которое бы, имея все преимущества скоростной топки, позволяло сжигать не только высокозольные древесные отходы, но и другие твердые топлива. Такой топкой явилась разработанная в ЛПИ и ЦКТИ топка скоростного горения с обращенным дутьем.

В этой топке осуществлено совпадение движения топлива, воздуха, продуктов сгорания и золы. Зажимающая решетка расположена горизонтально. Для лучшего продувания слоя воздухом установлены каретка или пережим, изменяющие толщину слоя или его порозность. Зажигание слоя обеспечивается подготовкой топлива в камере подготовки. Провал и продукты неполного горения дожигаются в камере догорания. Для сжигания древесного топлива употребляют комбинацию горизонтальной и вертикальной решеток. Здесь вертикальная решетка может служить камерой подготовки с переменной толщиной слоя.

Скоростная топка предполагает непрерывное питание топливом, исключая даже кратковременное обнажение решетки. Для этого в рукаве над топкой имеется запас топлива. Каскадно-лотковые рукава с плавными очертаниями, разработанные в ЛПИ, обеспечивают сход даже таких трудносходимых топлив, как влажная кора. Звено рукава ограничено дугами соосных окружностей радиусов r_1 и r_2 . При некотором предельном угле дуги $S_{пр}$ наступает равновесие сил, действующих на слой. Для древесных отходов и коры определена расчетным путем зависимость $S_{пр}$ от кривизны $y = \frac{r_1}{r_2}$ и давления на звено p_0 , позволяющая строить рукава плавных очертаний. Следует иметь в виду, что зона пригодности рукава, в которой сход возможен, ограничена кривой $S = \arccos y$.

При работе на высоковлажном топливе для устойчивости горения и улучшения схода топлива скоростные топки снабжаются каскадно-лотковыми сушилками, где топливо подсушивается в слое по разомкнутому циклу. Сушилка может быть одно- и двухпоточной. Ступени сушилки набираются из плит-колосников небольшого размера, свободно навешенных на подколосниковые балки. Сушильный агент — отходящие газы с температурой 300—350°С — подается под колосники, проходит сквозь щели между ними и пронизывает слой топлива.

До установки топок на действующих агрегатах были проведены опыты по сжиганию древесных отходов на стендовой

топке в ЛПИ и топках котлов ДКВ на заводе «Вахтан» и Харовском лесозаводе, временно переделанных по схеме с обращенным дутьем. Эти опыты показали, что древесные отходы в такой топке могут успешно сжигаться. На этих топках были принципиально найдены решения отдельных узлов топочного устройства.

После этого скоростные топки с обращенным дутьем были установлены на ряде котлов мощностью от 6 до 40 т/час, которые работают на различных древесных отходах, отличающихся влажностью, зольностью, фракционным составом, сыпучестью и т. д. При наладке этих топок возникли определенные трудности, в основном общие для всех топок. Наиболее последовательно наладка была проведена на котлах ТЭЦ Архбумкомбината, где в основном преодолены все трудности и топки доведены до удовлетворительного рабочего состояния.

Основной положительный фактор, выявленный на котле № 1 ТЭЦ Архбумкомбината, на котором скоростная топка была переделана по схеме с обращенным дутьем, — отсутствие шлакования зоны активного горения при работе на зольном топливе коре. В этом отношении кампания котла стала практически неограниченной.

Однако производительность котла в большой степени зависела от влажности топлива, т. е. от доли коры в древесных отходах. В значительной степени это определялось ухудшением схода топлива при увеличении его влажности. При хорошем сходе топка заполнена топливом, что определяет его хорошую подготовку и интенсивное горение. При нарушении схода слой разрывается, появляются проскоки воздуха через решетку, горение ухудшается.

Топливо застревало в ряде мест в рукаве, сушилке и шахте подготовки. Основными причинами застревания явились два обнаруженных при наблюдении за сходом топлива эффекта — краевой и инерционный. Краевой эффект — это затормаживание топлива у боковых стен. Он определяется боковым давлением и зависит от материала боковых стен и от сыпучих свойств топлива. Уплотненный у боковой стены слой топлива плохо «вписывается» в поворот и останавливается на переходе со звена на звено. На остановившееся топливо налипают соседние кусочки и, таким образом, на значительной части по ширине тракта движение топлива приостанавливается. Так как на котле были установлены две параллельные топки шириной по 2,9 м, краевой эффект значительно ухудшал сход топлива. Уменьшить краевой эффект можно увеличением ширины тракта (снятием перегородки между топками) и в какой-то мере установкой металлических боковых стен.

Инерционный эффект — утолщение слоя в нижней части звена благодаря инерции при движении топлива. Он появляется при неравномерном сходе топлива, при обвалах, а также при сегрегации топлива, когда более сыпучие опилки и щепа текут по слою коры. При инерционном эффекте увеличивается давление на нижележащее звено, которое может перейти в зону непригодности (ниже кривой $S = \arccos y$). На котле инерционный эффект в рукаве приводил к застреванию топлива на входе в сушилку. Он обуславливался неудобным расположением галереи топливоподачи по отношению к топке, в результате чего звенья выполнены в условиях, близких к зоне непригодности, поэтому увеличение давления на звено резко ухудшает сход топлива. Этому еще способствовало то обстоятельство, что звенья выполнены направленными в одну сторону, а не навстречу друг другу, что для коры очень важно.

От инерционного эффекта пытались избавиться уменьшением толщины слоя, т. е. увеличением кривизны y , что способствует выходу из зоны непригодности звена. Путем сравнительно небольших переделок удалось улучшить сход топлива, но все же источники застреваний остались.

Между тем котел сжигал все отходы комбината при среднемесячной нагрузке 20—33 т/час. Максимальная нагрузка достигала 46 т/час. Коэффициент использования времени был равен 91%.

При реконструкции котла № 2 той же ТЭЦ учли недостатки котла № 1. Топка была расширена до 6 м, чем значительно уменьшен краевой эффект. Рукав выполнен из звеньев, направленных навстречу друг другу. Увеличена толщина слоя в сушилке. В камере подготовки передняя стенка выполнена металлической. Таким образом, все сделано для улучшения схода топлива. И все же топливо застревало в рукаве и в сушилке. Последствия инерционного эффекта ликвидировать не удалось. Поэтому также пришлось уменьшать толщину слоя. Кроме того, для снижения инерционного эффекта применили противоинерционные щитки. Нашли правильное решение для ликвидации застреваний топлива перед сушилкой над рассекателем путем смещения рассекателя относительно слоя и образования свободной поверхности слоя. Эти мероприятия улучшили сход топлива настолько, что ручного вмешательства почти не требуется. Котел также сжигал все отходы комбината. Коэффициент использования времени его 87%. С ноября 1968 г. на комбинате вступила в строй вторая очередь, поэтому увеличилось количество древесных отходов. Среднесуточная нагрузка котла стала 30—35 т/час. Испытания, проведенные Оргбумдревом в марте 1970 г., показали, что при работе без сушилки котел имеет

среднюю паропроизводительность 28, а при работе с сушилкой — более 40 т/час.

По типу котла № 2 совершили вторичную реконструкцию топки котла № 1. Сход топлива улучшился, однако имеют место застревания в сушилке. Очевидно, решающее значение имеет толщина слоя, которая здесь мала.

Котлы ТЭЦ Архбумкомбината явились как бы стендами, на которых исследовалось сжигание данного вида древесных отходов, отработывались отдельные узлы и элементы топки, выявлялись общие возможности ее. Для этого были проведены режимные опыты, исследовалась работа зоны активного горения. Режимные опыты проводились как с работающей сушилкой, так и без нее. Влажность топлива колебалась во время опытов на котле № 1 от 40 до 63%, на котле № 2 — от 48 до 63%. Некоторые опытные данные представлены в таблице.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ КОТЛОВ ТЭЦ
АРХБУМКОМБИНАТА

Производительность, т/час	Влажность топлива, %	Давление горячего воздуха, кг/м ²	Коэффициент избытка воздуха в слое	Коэффициент избытка воздуха за котлом	Теплонапряженность плоскости подачи дутья, $10^{-6} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2/\text{час}}$	КПД котла, %
Котел № 1 без сушилки						
35,6	48,0	35	1,02	1,25	4,63	81,2
29,0	48,0	29	0,96	1,18	3,54	83,8
27,3	49,6	34	1,16	1,45	3,48	83,5
19,0	52,3	21	1,18	1,60	2,37	81,7
Котел № 1 с сушилкой						
38,0	40,0	33	0,74	1,10	4,50	84,8
34	43	14	0,82	1,13	4,0	86,7
30	48	11	0,86	1,14	3,65	84,9
27	53	12	0,86	1,22	3,05	88,0
23	56	12	1,3	1,75	2,65	85,6
20	61	5	1,22	1,85	2,61	76,1
Котел № 2 без сушилки						
34	48,6	36	0,8	1,48	3,42	79,6
26	53,7	22	1,39	2,13	2,81	78,5
24	55,9	18	1,72	2,30	2,82	72,5
21	57,0	29	2,01	2,75	2,40	74,6
18	61,0	30	1,76	2,60	2,0	75,1
Котел № 2 с сушилкой						
33,5	57,8	25	1,08	1,45	3,49	80,3
27,0	61,6	27	1,0	1,45	2,93	78,8
27,0	62,5	28	1,4	2,14	3,21	72,1

Одним из основных опытных фактов является зависимость паропроизводительности котлов от влажности топлива. Она понижается с увеличением влажности, что объясняется, кроме снижения теплотворной способности, ухудшением схода топлива. Слой при этом разрывается, порозность его увеличивается, снижается давление в камере горения, поэтому подготовка топлива, а значит, и горение ухудшаются.

Подсушка топлива в сушилке приводит к увеличению паропроизводительности котлов, причем эффект от подсушки тем больше, чем выше начальная влажность топлива. Так, при влажности топлива 55—60% при работе с сушилкой паропроизводительность увеличивается на 30—35%.

Опыты показали, что с увеличением форсировки дутья растут избытки воздуха в слое. Но при скоростях воздуха 4—5 тыс. $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ коэффициент избытка воздуха $\alpha_{\text{сл}}$ становится независимым от форсировки дутья. Это говорит о том, что при повышении скорости происходит перестройка структуры слоя вплоть до постоянной порозности, при которой и начинается настоящий скоростной процесс. Это подтверждается и тем, что коэффициент сопротивления горящего слоя резко падает с форсировкой дутья, а при указанных выше скоростях становится независимым от скорости дутья. Избытки воздуха растут с увеличением влажности топлива, что объясняется как замедлением горения влажного топлива, так и ухудшением схода топлива. При подсушке топлива в сушилке избытки воздуха уменьшаются.

Сопротивление слоя даже при больших форсировках мало, так что достаточно напора обычных низконапорных вентиляторов. В опытах сопротивление слоя не превышало $50 \text{ кг}/\text{м}^2$. В. В. Померанцевым было показано, что в горящем слое увеличивается порозность и его сопротивление становится пропорционально скорости воздуха в степени 1,4. В наших опытах при сжигании коры все точки расположились между эмпирическими кривыми $\Delta p = 7 Q^{1,4}$ и $\Delta p = 40 Q^{1,4}$, где $Q[\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}]$ — скорость воздуха. С увеличением сопротивления слоя (т. е. давления дутья) растет паропроизводительность котлов. Эта зависимость позволяет машинистам правильно вести режим.

Теплонапряжение плоскости подачи дутья на котле № 1 равнялось $(2,2—4,6) 10^6$, а на котле № 2 — $(2—3,5) 10^6 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$, причем зависимость теплонапряжения от влажности топлива и связь ее с подсушкой аналогична зависимости производительности от влажности. В. В. Померанцев предложил критерий приведенного теплонапряжения $\frac{Q_p^u B}{R\sqrt{P}}$, позволяющий отделить роль огневого состояния слоя

от роли дутья. При низкой влажности топлива зависимость этого критерия от влажности весьма слабая, при высокой же влажности величина критерия резко падает. И все же величина критерия для испытуемых топок в $1,5 \div 3,3$ раза выше, чем для любых даже самых современных топок старого типа. Поскольку критерий приведенного теплонапряжения обратно пропорционален коэффициенту избытка воздуха, можно заключить, что в топках старого типа использование дутья значительно хуже, чем в скоростных, они работают при относительно более высоких избытках воздуха. Это подтверждается также экспериментальной зависимостью $\alpha_k = f(v)$, где α_k — коэффициент избытка воздуха за котлом, а $v[\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}]$ — скорость воздуха через слой.

Вторичное дутье в камеру догорания увеличивает избытки воздуха, однако уменьшить его нельзя, так как вторичный воздух является транспортом топлива в вихревой камере. Поэтому чем больше паровая нагрузка, тем меньше влияние вторичного дутья — паропроизводительность растет с уменьшением $\Delta\alpha$, где $\Delta\alpha = \alpha_{\text{сл}} - \alpha_k$.

Теплонапряжение топочного объема на котле № 1 составляет $(100—215) 10^3$, а на котле № 2 — $(60—100) 10^3 \text{ ккал}/\text{м}^3 \cdot \text{час}$.

КПД котлов, несмотря на их изношенность, довольно высок: на котле № 1 72—89, а на котле № 2 72—80%. Потери тепла с химическим и механическим недожогом не превышают в основном 4%. Наибольшими потерями являются потери с уходящими газами. С увеличением теплонапряжения слоя растет КПД котлов.

Испытания сушилок показали, что топливо подсушивается на 11—16% на котле № 1 и на 6—18% на котле № 2, при этом влагоъем составляет от 0,34 до 0,71 кг с 1 кг сухого топлива. Объемное напряжение сушилок составило 115—200 $\text{кг}/\text{час}$ влаги на 1 м^3 сушилки. На сушку подавалось 40—76% всех газов с температурой 210—270°С. Скорость фильтрации газов была 0,3—0,6 $\text{м}/\text{сек}$. Но количество газов в верхней и нижней отсеки подавалось разное, поэтому локальные скорости были выше, что приводило к значительному выносу мелких фракций. Последнему способствовал также неравномерный сход топлива. Увеличение температуры сушильного агента, а также улучшение схода топлива значительно интенсифицирует работу сушилок. Опыты, проведенные Оргбумдревом на котле № 2, показали, что при паропроизводительности более 40 $\text{т}/\text{час}$ подсушка производится от $W_p = 65—68\%$ до $W_p = 45—48\%$.

Зона горения исследовалась на котле № 1 после его вторичной реконструкции при работе без сушилки. В опытах измерялись температура и давление по толщине слоя в трех сечениях по высоте и производился газовый анализ. В этих

же точках анализировалось топливо на содержание летучих, влаги и золы. К верхнему сечению (на выходе из камеры подготовки) выделяется и выгорает 65—70% летучих. Наличие влаги в пробах топлива говорит о том, что сушка не заканчивается в камере подготовки, сам же механизм соответствует высокотемпературной сушке, когда происходит продвижение поверхности испарения в глубь куска.

Распределение концентраций O_2 , CO_2 , CO и температур показывает наличие довольно большой восстановительной зоны, занимающей $1/3$ толщины слоя.

Обработка опытов свелась к выявлению основных характеристик горящего слоя — порозности и эффективного размера куска. Слой был разбит на ряд элементов, в каждом из которых находилась точка измерения. Сведением материального и теплового балансов в этих элементах определены температура и расход топлива. Все вычисления относятся к 1 кг сухого исходного топлива. Из предположения, что количество золы сохраняется постоянным, найдены изменения содержания летучих, влаги и кокса, отнесенные к первоначальному топливу, для каждого элемента. При составлении балансов предполагалось, что в рассматриваемый элемент поступает все топливо из вышележащего элемента и все газы из соседнего по движению газов элемента. Поэтому расход топлива в данных элементах определяется количеством азота на 1 кг выгоревшего топлива. Это дало возможность определить количество сгоревшего в каждом элементе топлива. Расчеты показали, что выгорание по слою весьма неравномерное и существуют места с очень медленным выгоранием. Такие места в виде негорящих «столбов» действительно наблюдались в топке.

Расчетные температуры удовлетворительно совпали с измеренными лишь в верхнем сечении, в нижних сечениях расчетная температура выше. Несмотря на приближенность расчетной схемы, неучет теплотерь и вторичной реакции воды с топливом, расчетные температуры следует считать более близкими к действительности, чем измеренные, поэтому они и приняты в дальнейших расчетах.

Совместным решением уравнения аэродинамического сопротивления слоя

$$\Delta p = \frac{1,53}{m^{4,2}} \frac{H}{\delta_{\text{част}}} \frac{\rho w^2}{2} \left(\frac{75}{Re_{\text{стр}}} + \frac{15}{Re_{\text{стр}}^{0,5}} + 1 \right) \text{ кг/м}^2$$

и выражения для удельной поверхности

$$f = \frac{6(1-m)}{\delta_{\text{част}}} \frac{m^2}{m_3}$$

определены порозность слоя m и эффективный размер частицы топлива $\delta_{\text{част}}$. Для вычисления величины f рассматривается задача горения углерода, что справедливо для участков с малым содержанием летучих, т. е. практически для всех участков слоя ниже верхнего сечения. Процесс считается происходящим в двойном горящем пограничном слое в диффузионной области. Поток окиси углерода и кислорода соответственно составляет:

$$G_3 = \frac{D}{RT} \frac{p_{3_0}}{\Delta} = \frac{p_{3_0}}{RT} \frac{\alpha_d}{\delta} = K_3 \frac{p_{2_0}}{RT} \text{ моль/м}^2\text{час};$$

$$G_1 = - \frac{D}{\delta - \Delta} \frac{p_{1\delta}}{RT} = - \frac{\alpha_d}{1 - \frac{\Delta}{\delta}} \frac{p_{1\delta}}{RT} \text{ моль/м}^2\text{час}.$$

Тогда, принимая во внимание, что $p_{3_0} + p_{2_0} = p$ и $G_3 = -G_1$ (пренебрегая изменением объема), получим количество выгоревшего углерода на поверхности ΔF

$$\Delta G_C = \frac{1}{2} \frac{\alpha_d p}{RT} \frac{N_3}{1 + N_3} \left(1 + \frac{p_{1\delta}}{p} \right) \Delta F \text{ моль/час}.$$

Зная из опытов ΔG_C , можем определить удельную поверхность реагирования

$$f = \frac{\Delta F}{V}.$$

где α_d — коэффициент диффузионного массообмена, м/час;
 p_{3_0} и p_{2_0} — парциальное давление окиси углерода и углекислого газа на поверхности углерода, кг/м²;

p — давление газов, кг/м²;

R — газовая постоянная, кг/моль °С;

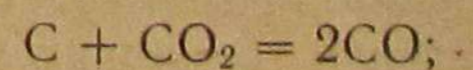
T — температура, °К;

$p_{1\delta}$ — парциальное давление кислорода за пределами пограничной пленки, кг/м²;

V — объем рассматриваемого элемента, м³;

$N_3 = \frac{K_3}{\alpha_d}$ — диффузионно-кинетический критерий Нуссельта;

K_3 — константа скорости реакции, м/час;



δ — толщина пограничного слоя, м;

Δ — граница проникновения кислорода, м.

α_d определяется из приближенной критериальной зависимости $Nu_d \approx 0,1 Re$, а для вычисления K_3 использован полюс,

определяемый в полулогарифмических координатах из закона Аррениуса.

Результаты вычислений показывают, что порозность слоя составляет $m = 0,2 - 0,7$; а размеры частицы $\delta_{\text{част}} = 6 - 300$ мм, причем для областей с медленным выгоранием $m = 0,08 - 0,20$, а $\delta_{\text{част}}$ составляет несколько сотен миллиметров. Видна тенденция снижения порозности и увеличения размера частицы по мере выгорания.

Рассмотрение схемы более точного расчета с учетом изменения объема газов в реакции $C + CO_2 = 2CO$ показало, что величина f отличается от рассчитанной по упрощенной схеме не более чем на 15%.

Длительная эксплуатация котлов, оборудованных скоростными топками с обращенным дутьем, испытания и наблюдения за их работой позволяют предложить конструктивные решения отдельных узлов топки. Найдены решения, позволяющие улучшить сход топлива по топливному тракту, успешно бороться с краевым и инерционным эффектами. Разработана конструкция сопряжения рукава с двухпоточной сушилкой, надежное уплотнение потолка камеры подготовки, предложена конструкция металлических боковых стен сушилки. Ликвидация застреваний топлива приведет к более эффективной работе зоны горения с меньшими избытками воздуха. Только в этом случае возможны уменьшение толщины слоя коры в зоне горения и ликвидация восстановительной зоны.

На основании опыта работы топок предложены три разработки реконструкции котла № 3 Архбумкомбината для перевода на сжигание коры. Третий вариант предусматривает высокотемпературную сушку топлива, что более интенсифицирует топку, увеличит надежность ее работы. Однако экономичность топки с переходом на замкнутый цикл сушки снизится.

ВЫВОДЫ

1. Получено промышленное подтверждение возможности организации скоростного процесса при обращенном дутье на крупном агрегате в длительной эксплуатации в большом диапазоне форсировок на весьма разнообразном топливе по влажности, зольности, фракционному составу.

2. Создана слоевая топка для сжигания высоковлажных древесных отходов с повышенной зольностью. Поэтапное освоение ее на трех достаточно крупных агрегатах и ряде мелких котлов позволило апробировать и отработать основные узлы и элементы топки и добиться следующих показателей: теплонапряжение слоя достигает $4 - 4,5 \cdot 10^6$ ккал/м² · час;

практически неограниченная кампания в отношении шлакования зоны активного горения.

3. Осуществлено дальнейшее совершенствование каскадно-лоткового тракта подачи топлива в топку. Выявлены дополнительные факторы, влияющие на сход топлива — краевой и инерционный эффекты, предложены эффективные меры борьбы с ними, а также надежное конструктивное решение для разделения слоя влажного топлива на два потока. И хотя на работающих сейчас топках имеет место застревание топлива, теперь известно, как его устранить.

4. Выявлена эффективность предварительной подсушки топлива, оказывающей решающее влияние на паропроизводительность котлов и сход топлива. Необходимо дальнейшее совершенствование каскадно-лотковой сушилки при работе по разомкнутому и по замкнутому циклам.

5. Изучение процессов в зоне активного горения показало значительную неоднородность слоя и наличие довольно большой восстановительной зоны. Схема аналитического расчета позволила найти для областей слоя топлива, лишенного летучих, значения эффективной порозности слоя m и среднего приведенного размера частицы $\delta_{\text{част}}$, что позволяет расчетным путем определить необходимую толщину слоя топлива в активной зоне.

6. Полученные материалы использованы при составлении руководящих указаний по эксплуатации топок скоростного горения и могут быть использованы для проектирования серийных топок.

Основное содержание работы изложено в статьях:

Е. Б. Гусаковский, Г. К. Екимов, В. В. Померанцев, Ю. А. Рундыгин. Сжигание высоковлажных древесных отходов. Химическая переработка древесины. Реферативная информация ЦНИИТЭИЛеспрома, 1966, № 6.

А. Э. Гольдберг, Е. Б. Гусаковский, В. И. Демьяновский и др. Опыт сжигания отжаты коры в топке скоростного горения с обращенным слоем. Сб. «Вопросы энергетики Сев.-Зап. экономического района». Сб. работ НТО ЭП, вып. II. Сев.-Зап. кн. изд-во, 1966.

Ю. А. Рундыгин, Е. Б. Гусаковский, А. И. Соленский, В. Д. Голицын. Исследование скоростного сжигания антрацита в слое с жидким шлакоудалением. Известия вузов, Энергетика, 1966, № 12.

В. В. Померанцев, Е. Б. Гусаковский, Г. К. Екимов и др. Испытания, доводка и исследования отдельных узлов топки с обращенным дутьем на древесных отходах и коре. Энергетическое машиностроение. НИИИнформтяжмаш, вып. 10, 1966.

Е. Б. Гусаковский, Ю. А. Рундыгин, В. И. Симанов. Исследование сжигания ряда топлив в скоростной слоевой топке с обращенным дутьем. Труды ЛПИ, 1967, № 286.

Е. Б. Гусаковский, В. П. Мусиков, К. Д. Сыркина и др. Продолжение опыта сжигания коры в топке скоростного горения с обращенным дутьем. Сб. «Вопросы энергетики Сев.-Зап. экономического района». Сб. работ НТОЭ и ЭП, вып. III. Сев.-Зап. кн. изд-во, 1969.

М 46974. Подписано к печати 4-IX-70 г. Формат бумаги 60×90^{1/16}.
Объем 1 печ. л. Заказ 738. Тираж 120. Бесплатно.

Лаборатория полиграфических машин Ленинградского
ордена Ленина политехнического института им. М. И. Калинина.
Ленинград, К-251, Политехническая ул., 29.