

84322

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ имени С. М. КИРОВА

Др $\frac{189}{1618}$

Е. А. ТРОФИМОВ

**ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПЕРЕВОДА ТОПОК
СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ
НА ЭНЕРГОХИМИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РЯДОВЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

Специальность № 424

«Машины, оборудование и технология гидролизных
и лесохимических производств»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. ЛЕНИНГРАД
1969 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ имени С. М. КИРОВА

Др $\frac{189}{1618}$

Е. А. ТРОФИМОВ

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПЕРЕВОДА ТОПОК
СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ
НА ЭНЕРГОХИМИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РЯДОВЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Специальность № 424

«Машины, оборудование и технология гидролизных
и лесохимических производств»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Контроль

Экземпляр

г. ЛЕНИНГРАД
1969 г.

1
Государственная
библиотека
СССР
им. В.И. Ленина
1969 г. - 84322

Работа выполнена в Северном научно-исследовательском институте промышленности.

Научный консультант — доктор технических наук, профессор **В. В. Поморанцев**.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Коротов С. Я.**,
кандидат технических наук, доцент **Цацка Э. М.**

Ведущее предприятие — Центральный котлотурбинный институт
им. **И. П. Ползунова**.

Автореферат разослан « » 1969 г.

Защита диссертации состоится « » 1969 г. на заседании Ученого совета химико-технологического факультета Ленинградской академии имени С. М. Кирова (Институтский пер., 5, зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Ученый секретарь совет **Наткина Л. Н.**

XXIII съезд КПСС поставил задачу развития лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности на базе комплексного использования древесного сырья.

Широкое распространение в нашей стране получило строительство крупных лесопромышленных комплексов, объединяющих производства различных направлений. На действующих предприятиях вводятся производства, перерабатывающие древесные отходы на разнообразные товарные продукты. В ближайшие годы благодаря этому можно будет использовать 20 млн. м³ отходов вместо 6 млн. м³ в 1965 г. При этом 62% отходов пойдет на технологические и 38% на энергетические нужды.

Несмотря на намечающийся прогресс в направлении комплексного использования древесины, количество неиспользуемых отходов еще настолько велико (более 180 млн. м³ в расчете на 1970 г.), что необходимо ускорить развитие производств, потребляющих древесные отходы. Одним из направлений рационального использования древесных отходов является энергохимическая их переработка.

Вопросу энергохимического использования твердых натуральных топлив уделяется значительное внимание. Ведутся работы по отбору химических продуктов при сжигании каменного угля (энерготехнологическое использование), торфа, сланцев. В международном плане вопрос об энерготехнологическом использовании натуральных топлив считается настолько актуальным, что принято решение посвятить этой проблеме специальный VIII конгресс Мировой энергетической конференции в 1971 г.

В настоящее время процесс энергохимической переработки древесных отходов промышленно апробирован на аппаратах двух типов: газогенераторе (с выдачей генераторного газа и

химпродуктов) и топке скоростного горения с паровым котлом (с получением пара и химпродуктов).

При этом возникают проблемы: а) измельчения отходов до необходимых кондиций; б) устойчивого схода плохосыпучих отходов древесины по топливному тракту; в) предварительной их подсушки; г) термического разложения топлива; д) сжигания или газификации коксового остатка; е) улавливания химпродуктов с последующей переработкой их на товарные продукты.

Каждая из указанных проблем представляет собой самостоятельную научно-техническую задачу и к настоящему времени с той или иной степенью надежности доведена до технических решений. Однако, учитывая непрерывное ухудшение качества древесных отходов (повышение влажности, зольности, процентного содержания коры и др.), указанные проблемы требуют серьезных дополнительных проработок.

Настоящая диссертация посвящена анализу намечаемых к переработке древесных отходов, как сырья для энергохимических производств, а также исследованиям и отработке в промышленных условиях вопросов, непосредственно связанных с собственно энергохимическим аппаратом (сход, сушка, термическое разложение, сжигание). Базой для исследований явились скоростные топки с сушилками, установленные на предприятиях Северо-Запада и предназначенные для перевода на энергохимический процесс.

Основные вопросы, изложенные в диссертации, разрабатывались в течение нескольких лет в общем плане работ Северного научно-исследовательского института промышленности

ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ЭНЕРГОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Лесохимические предприятия до сих пор используют в качестве сырья специально заготавливаемую древесину, которая может быть применена для других целей. Известно, что даже низкокачественные отходы (кора) имеют химический состав, аналогичный древесине, и при термическом разложении дают в основном такие же химические продукты, какие получают из высококачественной древесины. Использование древесных отходов расширяет сырьевую базу лесохимической промышленности.

Основными источниками древесных отходов являются лесозаготовительные предприятия (свыше 100 млн. м³ в год), заводы лесопиления и деревообработки (около 65 млн. м³) и целлюлозно-бумажные производства.

Древесные отходы находят самое широкое применение: в производстве технологической щепы, в лесохимическом и гидролизном производстве, переработке крупных кусков на различные сортаменты и мелких отходов для производства древесной муки, изготовлении прессованных деталей. При этом требуется дополнительная обработка или сортировка древесных отходов с доведением их до определенной кондиции. Вторичные древесные отходы, образующиеся в результате указанной дополнительной обработки отходов, а также излишки качественных древесных отходов должны использоваться в энергетическом или энергохимическом направлении. Здесь они выступают как топливо.

Сравнение элементарного состава древесины разных пород, различных частей растения и такого резко отличающегося класса отходов, как кора, показывает, что с точностью, приемлемой для инженерных расчетов, элементарный состав органической массы всех отходов можно считать одинаковым. Следовательно, высшая теплотворная способность незагрязненных древесных отходов различного вида также должна быть примерно одинаковой. Это подтверждается данными по величине высшей теплотворной способности древесины разных пород. И только зольность и влажность резко ухудшают качество древесных отходов как топлива.

Зольность древесных отходов достигает значительных величин (12—15%) главным образом за счет минеральных примесей, попадающих в отходы при транспортировке. Поэтому для крупных установок необходимо предусматривать специальные устройства для удаления золы.

Влажность отходов колеблется в широких пределах, достигая, в частности для коры мокрой окорки, даже после ее отжима, 60—65%. При влажности коры 60% теплотворная способность рабочей массы составляет 1340 ккал/кг. Это превращает целые классы древесных отходов в топлива с низкой теплотворной способностью, что вызывает трудности при их сжигании, а при энергохимической переработке требует глубокой предварительной подсушки.

Фракционный состав является одним из основных показателей отходов как топлива. Главное при сжигании отходов —

это их однородность по размерам. В отходах лесопиления помимо большого количества опилок имеются крупные включения в виде палок до 300 мм и более, что вызывает затруднения при их сжигании. Отходы лесозаготовок после измельчения содержат большое количество как мелочи, так и щепы крупной фракции. Щепа из лесосечных отходов содержит также до 30% хвой.

Сыпучесть топлива влияет на сход его, а следовательно, на поддержание непрерывного горения и стабильность работы топки. Отходы лесопиления, измельченные в щепу, обладают хорошей сыпучестью. Отходы лесозаготовок имеют криволинейную форму и плотно не укладываются. Щепа из них обладает меньшей сыпучестью. Влажная кора — наихудшее топливо. Сыпучесть ее повышается после отжима на прессах и измельчения на корорубках. Тем не менее, для ее транспортировки в топку потребовалось создание специальных рукавов плавных очертаний.

ЭНЕРГОХИМИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Вопросами энергохимического использования древесных отходов занимались многие научные коллективы. Известны работы А. К. Славянского (ЛТА), ЦНИЛХИ—ЦНИИМЭ, В. А. Лямина (ЛТА), В. В. Померанцева (ЦКТИ, ЛПИ, ЛТА).

Энергохимическая установка на базе топки скоростного горения, исследование условий работы которой является предметом данной диссертации, представляет собой сочетание швельшахты с топкой. В швельшахте древесина подвергается термолизу с выделением парогазов, которые направляются в газоочистку. Коксовый остаток от швелования поступает в нижнюю часть топки и сжигается в зажатом слое. В газоочистной системе выделяется смола и летучие кислоты, а неконденсирующиеся газы направляются под котел на сжигание. Процесс термолиза в швельшахте обеспечивается за счет перетока части продуктов сгорания коксового остатка из активной зоны слоя.

Первая энергохимическая установка с топкой скоростного горения была построена на канифольно-экстракционном заводе «Вахтан» для сжигания отработанной осмольной щепы с примесью подруба из дровяной древесины. Комплекс хорошо заре-

комендовал себя: из отходов без специальной заготовки ежегодно вырабатывается до 3 тыс. тонн смолы, литейного крепителя, коптильной жидкости и уксусно-кальциевого порошка, вдвое повысилась пароприводительность котла, капиталовложения окупилась за 1,5 года.

Работы, проведенные ЛТА, ЛПИ и ЦКТИ на заводе «Вахтан», явились основой для постановки вопроса развития энергохимии и перехода к использованию для этих целей рядовых древесных отходов. Для этого необходимо было решить следующие задачи, которые явились основным предметом настоящей работы.

1. Проверка возможности получения лесохимических продуктов из рядовых древесных отходов. С этой целью была создана полузаводская энергохимическая установка.

2. Уточнение ряда вопросов работы швельшахты, что потребовало проведения опытов на котле № 3 завода «Вахтан».

3. Учитывая, что серийные топки скоростного горения выпускаются без сушилок, а при энергохимическом процессе работа сушилки является обязательным условием, была проведена проверка и исследование работы топки с сушилкой. Эти вопросы решались на вновь созданных установках с топками скоростного горения и с каскадно-лотковыми сушилками у котлов № 1 и 2 Архбумкомбината и ДКВ-10 на Цигломенском ЛДК.

В качестве базы для опробования энергохимической переработки рядовых древесных отходов на Архбумкомбинате автором была разработана полузаводская установка с топкой скоростного горения, однопоточной сушилкой и устройством для улавливания химводов.

В результате проведенных исследований был отработан режим энергохимической установки при переработке рядовых древесных отходов и получена смола в количествах, достаточных для ее оценки как товарного продукта. Попытки переработать отжатую кору после шнек-прессов привели к застреванию ее по всему тракту схода, что затрудняло создание плотного слоя в зоне горения. Проведенные опыты показали, что из рядовых древесных отходов в топке-генераторе может быть получена товарная смола. В то же время переход на такие отходы, как кора, требует конструктивного совершенствования отдельных узлов агрегата.

Во время освоения второго котла энергохимического комплекса

(ДКВ-10) на заводе «Вахтан» при участии автора проведены исследования процесса швелевания в шахте рюмкообразной формы. Подобная конфигурация шахты была принята для вновь проектируемого энергохимического комплекса на Цигломенском ЛДК. Были определены поля температур, давлений, состава газов и концентрация паров химических продуктов.

При этом найдено, что количество кислорода и CO_2 в газе почти одинаково по ширине шахты и зависит от форсировки предтопка. Температура по ширине шахты в верхней ее части и посередине была постоянна и составляла соответственно 105 и 280°C. При форсировке дутья до 30 мм, в. ст. температура газов непосредственно над зоной горения менялась в пределах 990—1200°C.

Выходы химпродуктов были довольно высокими, а калорийность газа, отбираемого из швелешахты, в связи с сильным разбавлением его греющим газом составляла всего 940—1400 ккал/м³. Концентрация химических продуктов в газе равнялась по кислоте — 58 г/м³ и смолы — 260 г/м³ газа. Наибольшие выходы относятся к периодам поступления в шахту более сухого топлива.

Сравнение полученных результатов с данными по исследованию первого комплексного котлоагрегата НЗЛ-300 показывает более равномерное распределение кислорода и температур по ширине шахты котла ДКВ-10. Это давало основание предполагать, что заложенная в проекте энергохимического комплекса на Цигломенском ЛДК конструкция швелешахты является более совершенной и обеспечивает равномерный прогрев топлива по всему объему.

Проведенная оценка возможности перехода на энергохимическое использование рядовых древесных отходов дала обнадеживающие результаты. Однако в вопросе создания энергохимического комплекса важное место занимают проблемы сушки и сжигания высоковлажных древесных отходов. При сжигании возникают трудности, связанные со сходом топлива.

Оптимальная влажность щепы для газогенераторной установки принимается 25%. Влажность отходов, поступающих в топку скоростного горения, может быть и выше, так как нет ограничений по влагосодержанию сжигаемого под котлом газа. Однако, необходимо помнить, что при большой влажности отходов снижается выход получаемых продуктов, которые к тому же сильно увлажняются.

ОСВОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДА, СУШКИ И СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Сход топлива

В связи с тем, что к моменту проектирования и начала пуско-наладочных работ на котлах № 1 и 2 Архбумкомбината и ДКВ-10 Цигломенского ЛДК методика построения топливного тракта, обеспечивающего бесперебойный сход рядовых древесных отходов (включая кору), отсутствовала, выбор и уточнение конфигурации топливного тракта указанных установок осуществлялись на моделях, изготовленных в натуральную величину из дерева. Опыты на моделях показали, что плохосыпучие древесные отходы требуют для обеспечения нормального схода создания принципиально нового тракта плавных очертаний. Резкое увеличение толщины слоя сверху не допускается. Моделирование узла соединения однопоточного рукава с двухпоточной сушилкой показало необходимость установки вращающегося вала-рассекателя, который, располагаясь на входе в сушилку, обеспечивает разделение слоя топлива на два потока.

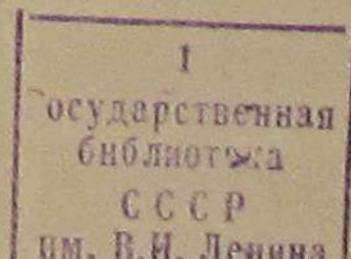
В результате модельных испытаний появилась возможность создания тракта топливоподачи и конструкции двухпоточной сушилки, обеспечивающих сход чистой коры.

Сжигание рядовых древесных отходов

Котел ДКВ-10, установленный в ТЭЦ Цигломенского ЛДК, проектировался как энергохимический агрегат и имеет в своем составе топку скоростного горения и двухпоточную сушилку. С 1965 г. котел работает по энергетической схеме, сжигая рядовые отходы комбината.

После пуска котла паропроизводительность его составляла 4 т/час. Была проведена длительная и кропотливая работа по наладке, осложняющаяся тем, что котел находился в промышленной эксплуатации и переделки, связанные с остановкой котла, были затруднены. Главное внимание было уделено обеспечению бесперебойного схода топлива, который был налажен после проведения целого ряда мероприятий.

Причиной низкой паропроизводительности котла являлась плохая подготовка топлива в шахте топки. Улучшение подготовки было достигнуто путем увеличения толщины слоя до 600 мм и организации задержки и зажигания его у неподвижного пе-



режима, что привело к повышению нагрузки котла. Был также переделан подвижный пережим, организован подвод воздуха снизу и т. п. Все это позволило добиться номинальной паропроизводительности — 10 т/час с пиковыми нагрузками до 11—12 т/час.

Представляет интерес проделанная работа по улавливанию уноса несгоревшего топлива. Для уменьшения выноса угольков в газопроводы в топочном объеме котла установлены дожигательные стенки. Однако унос мелких угольков все же имел место, что увеличивало пожароопасность. Для улавливания уноса использовали искрогаситель на дымовой трубе: изменив подвод и отвод газов, его превратили в циклон со смывом накопившегося уноса водой.

На котле ДКВ-10 прошли проверку отдельные узлы энергохимкомплекса: узел отбора парогазовой смеси, щелевая газовая горелка и др. Котел подготовлен к переводу на энергохимический процесс.

На многих предприятиях имеется необходимость утилизации относительно небольшого количества древесных отходов при наличии в котельной другого топлива (например, газа). Проверка возможности одновременного сжигания газа и древесных отходов была осуществлена в Верховском ЛПХ на котле паропроизводительностью 2 т/час установки ПСТ-1-200. В качестве топлива использовались дробленые отходы нижнего склада леспромхоза и генераторный газ энергохимической установки системы В. А. Лямина. Отходы сжигались в топке скоростного горения, а газ подавался в топочный объем с помощью специальной горелки, вмонтированной в короб вторичного дутья. Опыты показали, что совместное сжигание отходов и газа под котлами, снабженными топками скоростного горения, может быть осуществлено без значительных переделок топочного устройства с достаточно высокой надежностью и экономичностью. Предложенная конструкция газовой горелки может быть использована для сжигания газа, возвращаемого под котел после системы улавливания, при энергохимическом процессе в топке скоростного горения.

Сжигание коры и других отходов ЦБК

В ТЭЦ Архбумкомбината поступают следующие отходы: отжатая кора, опилки от распиловки бревен на баланс, мелкая и крупная щепа от сортировок, щепа из дровяной древесины.

Доля последней неуклонно снижалась, и с 1967 г. подруб щепы не подается.

Сжигание отходов было организовано на котлах паропроизводительностью 40 т/час (НЗЛ-40). Первоначально был реконструирован котел № 1 ТЭЦ Архбумкомбината с целью сжигания смеси щепы с корой. Для этого была установлена топка скоростного горения с горизонтальной решеткой, в которой организовано движение в одном направлении воздуха, топлива, продуктов сгорания и золы (топка с «обращенным дутьем»). Топливо предварительно подсушивалось в двухпоточной сушилке. Подача топлива из бункера к сушилке предусмотрена каскадно-лотковыми рукавами. Зола и шлак выпадали через решетку в золовые воронки и эвакуировались в систему гидрозолоудаления. Ширина котла по фронту — 6 м, поэтому топка и сушилка разделены на две части. От бункера к сушилкам подходят 2 параллельных рукава.

Пуск котла показал, что производительность его определяется качеством подаваемого топлива. При добавлении к древесным отходам и отжатой коре 25—30% щепы котел легко нес нагрузку 35—45 т/час. При работе на одной коре появлялись частые зависания по тракту топливоподачи, горение ухудшалось из-за проскоков воздуха сквозь решетку, производительность котла снижалась до 20—15 т/час. Деление на 2 части сушилки и топки усугубляло застревания коры.

Тем не менее, котел успешно работал, сжигая все отходы комбината, в течение нескольких лет. Накопленный опыт был использован при реконструкции котла № 2 с целью сжигания чистой коры. На котле № 2 топка, сушилка и рукав были выполнены шириной 6 м по всему фронту, что значительно улучшило сход топлива. Зажимающая решетка была выполнена из труб фронтального экрана, выгнутых в сторону фронта котла так, что образовалась наклонная часть решетки — зона горения. Рукав плавных очертаний, соединяющий бункер с сушилкой, выполнен в виде двух лотков с переменной направлением схода. Это способствует рыхлению слоя при переходе со звена на звено и улучшает сход топлива.

Наладочные работы на котле при сжигании одной коры подтвердили предположение, что слой топлива по всему тракту схода должен быть одинаковым по толщине или немного расширяющимся книзу. В практике проектирования до сих пор наблюдалась противоположная тенденция. В погоне за запа-

сом топлива над топкой конструировали расширение кверху для котла № 1 $K = \frac{940}{680} = 1,38$ и котла № 2 $K = 1,16$.

Паропроизводительность котла при работе на одной коре составила 30 т/час. На котле № 2 было проведено исследование термического режима шахты путем опускания 6 гибких термопар в слой. Пройдя вместе с топливом через сушилку и шахту топки, они показали повышение температуры топлива по зонам. Было отмечено, что в шахте топки происходит резкое повышение температуры, вызванное поступлением коксового газа из зоны горения, что способствует активной подготовке топлива. Это показывает возможность организации устойчивого сжигания любых отходов, вплоть до влажной коры. В случае энергохимического использования отходов переток коксового газа является неизменным условием организации процесса термолиза.

Таким образом, проделанная работа получила дополнительное направление — энергетическое сжигание высоковлажных древесных отходов и коры. Применяя ту же схему — топка скоростного горения, двухпоточная сушилка, рукав плавных очертаний, — можно решить вопрос сжигания коры, получающейся от окорки пиловочника на лесозаводах. Нами предложено подобное топочное устройство с серийным котлом ДКВ-10 для Архангельского ЛДК им. Ленина. При этом использован опыт, накопленный при наладке и эксплуатации котлов НЗЛ и ДКВ-10. После освоения сжигания коры на ЛДК им. Ленина закономерно переход на энергохимическое ее использование.

Вопросы сушки древесных отходов

Предварительная подсушка древесных отходов является необходимым условием их энергохимического использования. С топкой скоростного горения применяются слоевые сушилки каскадного и каскадно-лоткового типа. Основное внимание в работе уделено созданию конструкции и отработке промышленного образца двухпоточной сушилки каскадно-лоткового типа.

Вначале сушилка оборудовалась двухпоточным рукавом. Эксплуатация ее с котлом ДКВ-10 на Цигломенском ЛДК показала, что это приводит к застреваниям в бункере и рукаве. Поэтому перешли на сочетание однопоточного рукава с двух-

поточной сушилкой, установив в месте раздвоения потоков вращающийся вал-ворошитель.

Ступени сушилки котла ДКВ-10 набраны из чугунных колосников. На котле № 1 Архбумкомбината были проверены в работе стальные колосники, хорошо зарекомендовавшие себя. Однако, стальные колосники в конце ступеней обгорают, срок службы их резко сокращается по сравнению с чугунными. На котле № 2 поэтому звенья каскадов сушилки набраны из стальных колосников, а в конце звена установлены чугунные колосники. Звенья сушилки опираются на опорные трубы, охлаждаемые водой. Это приводит к увеличению расхода технической воды на котлоагрегате. На котле № 2 нижние 4 опорные трубы включили в циркуляцию котла. Для котла ДКВ-10 достаточно воздушного охлаждения опорных труб сушилки.

Наибольшие затруднения вызвала отработка схемы отвода газов из сушилки. На Цигломенском ЛДК было намечено установить отсасывающий дымосос с пропуском газов через скруббера. От скрубберов отказались, а эксплуатация одного дымососа без защиты от уноса привела к тому, что он сгорел. Был проверен вариант работы сушилки под давлением, т. е. без отсасывающего дымососа, когда на выходе из сушилки давление газов положительное. Это привело к дымлению сушилки, сушка топлива значительно ухудшилась. Поэтому принята такая схема: отвод газов из сушилки производится дымососом; перед ним ставятся циклоны, улавливающие мелкое топливо, выносимое из сушилки; унос возвращается в топку.

В работе проведено исследование двухпоточных сушилок котла ДКВ-10 и котла НЗЛ-40. В табл. 1 приведены предва-

Таблица 1

Паропроизводительность, т/час	Влажность топлива абсолютная, кг/кг		Влагоусем, кг/кг а. с. т.	Давление (разрежение)		Газов за котлом	Температура, °С			
	до сушилки	после сушилки		газов перед сушилкой, мм в. ст.	газов после сушилки, мм в. ст.		газов перед сушилкой	газов после сушилки	топлива до сушилки	топлива после сушилки
6,0	1,13	0,81	0,32	20/10	—1	250	242	90	5	70
6,5	1,20	0,676	0,52	40/20	—3	260	250	80	1	85
6,2	1,38	1,12	0,26	20/10	—1	260	240	82	5	75
7,0	1,27	0,67	0,60	50/20	—3	265	245	85	0	80

Таблица 2

К-во рабо- чего топли- ва на одну сушилку	К-во сухого топлива	Абсолютная влажность рабочего топлива до сушилки	Абсолютная влажность топлива после сушилки	Кол-во снятой влаги			Температура	
				на 1 кг сухого топлива	на 1 м ³ сушил- ки	на 1 м ³ газа	на вхо- де в су- шилку	на выходе из сушил- ки
				кг/кг с. т.	кг/м ³ ч.	г нм ³	°С	°С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,69	1,44	1,56	0,88	0,68	98	64	230	75
6,20	3,08	1,02	0,59	0,43	134	73	270	99
3,27	1,24	1,63	1,04	0,59	73	57	232	72
7,60	3,46	1,20	0,62	0,58	201	82	220	71
5,00	2,16	1,32	0,79	0,53	115	67	210	70
5,10	2,05	1,49	0,85	0,64	131	71	204	73

рительные данные по сушке рядовых древесных отходов на котле ДКВ-10 ЦЛДК.

Табл. 2 характеризует сушку щепы с корой на двухпоточной сушилке котла № 1 АБК. Сушка коры на сушилке котла № 2 АБК показана в табл. 3. Как видно из приведенных таблиц в слоевой сушилке происходит интенсивный теплообмен, так как разность температур до и после сушилки довольно большая. Температура теплоносителя во всех случаях сравнительно низкая, тем не менее влагосъем составляет 0,3—0,5 кг/кг с. т. при сушке рядовых древесных отходов, 0,43—0,68 кг/кг с. т. при сушке щепы с корой и 0,6—0,75 кг/кг с. т. при сушке коры. Количество снятой влаги составляет 0,08—0,1 кг/м³ газа.

Полученные данные показывают, что при высокой начальной влажности топлива глубина подсушки при существующих расходах и температуре теплоносителя на входе в сушилку недостаточна для энергохимического процесса. Дальнейшее углубление сушки можно получить за счет увеличения доли газов, подаваемых в сушилку, и повышения температуры теплоносителя до 300—350°С.

К-во су- шильного агента на 1 кг сухого топлива	Доля газов, подаваемых в сушилку от всех газов	Давление газа на входе в сушилку		Разрежение газа на выходе из сушилки	Скорость выхода газов с по- верхности топлива	Время пребывания топлива в сушилке	Паропроиз- водитель- ность котла
		низ	верх				
		мм в. с. т.					
нм ³ /кг с. т.	%			м/сек	минут	т/час	
10	11	12	13	14	15	16	17
10,7	76	44	14	34	0,36	20	20
6,0	40	70	19	23	0,41	16	26
10,3	70	60	40	25	0,29	22	22
7,1	47	35	9	24	0,55	13	27
8,0	52	48	32	49	0,38	20	21
9,0	60	59	0	28	0,41	20	23

Таблица 3

Влажность поступаю- щего топ- лива, кг/кг с. т.	Влажность топлива после сушилки, кг/кг с. т.	Метод определения влажности топлива после сушилки	Влагосъем с 1 кг абс. сух. топлива, кг/кг	Кол-во влаги, сни- маемой в сушилке, кг/час.	Напряжение объема сушилки, кг/м ³ час
1,22	0,57	По составу газов	0,65	—	—
1,41	0,78	»	0,63	—	—
1,62	0,91	»	0,71	—	—
1,53	0,79	»	0,74	—	—
1,67	1,25	Отбор проб	0,42	3670	159
1,68	0,93	»	0,75	—	—
1,37	0,88	»	0,49	3990	173
1,60	1,26	»	0,34	2475	108
1,39	0,68	По составу газов	0,71	2840	123
1,27	0,73	Отбор проб	0,54	3135	136

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В СУШИЛКЕ КАСКАДНО-ЛОТКОВОГО ТИПА

При сушке древесных отходов в сушилке каскадно-лоткового типа газ пронизывает слой топлива, лежащего на ступени сушилки, перекрестным током (рис. 1).

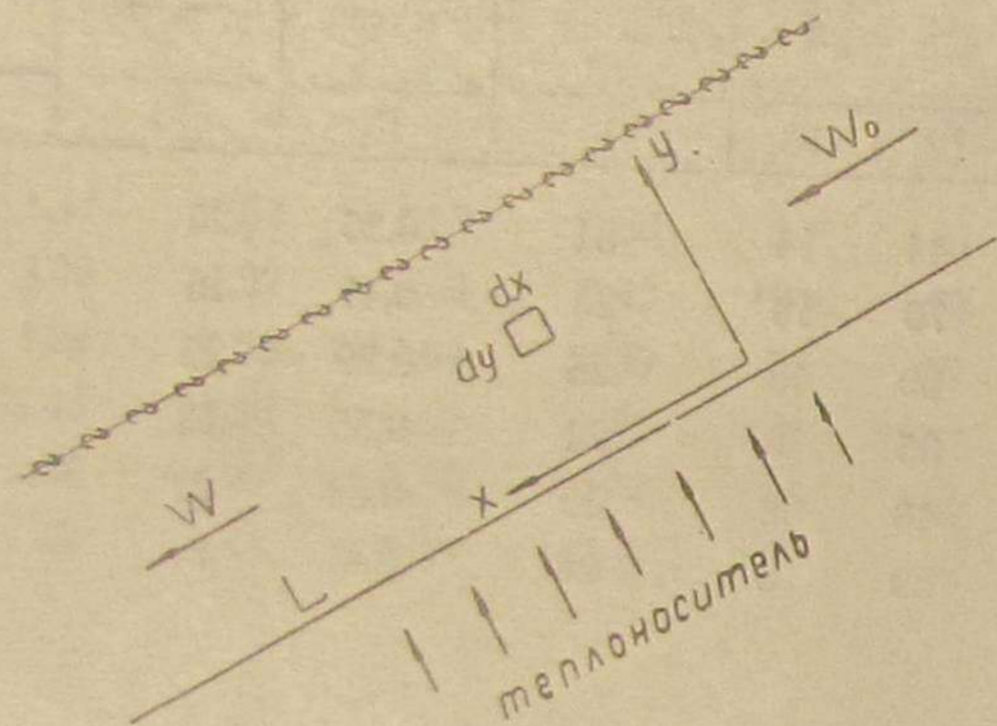


Рис. 1.

Уравнение теплового баланса для элементарного объема слоя при установившемся во времени процессе будет:

$$\frac{\partial W}{\partial X} = \frac{G_r}{G_m} \cdot \frac{C_r}{r_{пр}} \cdot \frac{\partial t_r}{\partial y}, \quad (1)$$

где X и Y — соответственно длина и толщина слоя материала на ступени, м;

W — влажность материала, кг/кг с. т.;

G_r — весовой расход газа, кг/м²час;

G_m — весовой расход сухого материала через единицу поперечного по высоте сечения слоя, кг/м²час;

C_r — теплоемкость газа, ккал/кг °С;

$r_{пр}$ — количество тепла, расходуемое на испарение 1 кг влаги с учетом затрат на нагрев материала и теплотеперь, ккал/кг;

t_r — температура газа, °С.

Кроме того, для элементарного объема можно составить уравнение теплообмена:

$$\frac{\partial W}{\partial X} = - \frac{\alpha_r f}{G_m} \cdot \frac{t_r - t_{пм}}{r_{прив}}, \quad (2)$$

где α_r — коэффициент теплоотдачи от газа к материалу, ккал/м² час °С;

f — удельная поверхность в объеме слоя материала; $\frac{м^2}{м^3}$;

$t_{пм}$ — температура поверхности материала, °С.

При сжигании высоковлажных древесных отходов с предварительной их подсушкой топливо в сушилке проходит в основном только первый период сушки.

Процесс сушки слоя в перекрестном токе газа в первом периоде сушки вполне описывается приведенными уравнениями (1) и (2).

В безразмерном виде эту систему уравнений можно представить:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \Pi_x} = \frac{\partial \Theta}{\partial \Pi_y}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \Pi_x} = - \Theta. \quad (4)$$

где Ω — безразмерная влажность, $\Omega = \frac{W}{W_0}$,

Θ — безразмерная разность температур, $\Theta = \frac{t_r - t_{мт}}{t_r^0 - t_{мт}}$.

Π_x и Π_y — новые переменные;

W_0, W — начальная и конечная влажность материала, кг/кг;

$t_r^0 - t_{мт}$ — температурный напор на входе в слой;

$t_r - t_{мт}$ — температурный напор на выходе из слоя;

$$\Pi_x = \frac{\alpha f (t_r^0 - t_{мт}) X}{G_m r_{пр} W_0}$$

— отношение количества тепла, отдаваемого газом материалу на длине сушилки «X», к полному количеству тепла, необходимого для испарения влаги;

$$\Pi_y = \frac{\alpha f}{G_r C_r} Y$$

— отношение тепла, отдаваемого газом по глубине слоя материала «Y», к теплосодержанию газа.

Учитывая, что температурный напор на входе не зависит от Π_x , после интегрирования получим:

$$\Theta = e^{-\Pi_y} \quad (5)$$

$$\Omega = 1 - e^{-\Pi^2} \Pi_x \quad (6)$$

Среднее значение температуры газа на выходе:

$$\bar{\Theta} = e^{-\Pi_n} \quad (7)$$

Средняя влажность на выходе из отсека сушилки:

для I отсека
$$\bar{\Omega}_{L_1} = 1 - \frac{\Pi_{L_1}}{\Pi_n} (1 - e^{-\Pi_n}) \quad (8)$$

для II отсека

$$\bar{\Omega}_{L_2} = 1 - (1 - e^{-\Pi_n}) \frac{\Pi_{L_1} + \Pi_{L_2}}{\Pi_n} \quad (9)$$

В целом для всей сушилки

$$\bar{\Theta} = e^{-\Pi_n} \quad (10)$$

$$\bar{\Omega} = 1 - (1 - e^{-\Pi_n}) \frac{\Pi_{L_1} + \Pi_{L_2}}{\Pi_n} \quad (11)$$

Полученные уравнения позволяют производить аналитический расчет процессов сушки высоковлажного топлива в поднижнем слое. При этом необходимо иметь данные о значениях объемного коэффициента теплоотдачи αf , которые находятся из опытов. Учитывая сложную структуру высушиваемого материала и своеобразие движения в слое, представляет интерес найти значения из двух разных источников. Одно значение « αf » будет найдено исходя из условия охлаждения газа, второе находим из значения конечной влажности:

$$(\alpha f)_g = \Pi_n \frac{G_r C_r}{H} \quad (12)$$

$$(\alpha f)_s = \Pi_L \frac{G_M \cdot r_{np} \cdot W_0}{(t_g^\circ - t_{MT})L} \quad (13)$$

Степень различия этих значений определяет меру погрешностей, связанных с принятыми упрощениями решения и ошибками замеров в опытах.

Для случая подачи различного количества сушильного агента в отсеки, когда $\Pi_{L_1} \neq \Pi_{L_2}$, формула (11) имеет вид:

$$\bar{\Omega} = 1 - (1 - e^{-\Pi_n}) \frac{(t_g^\circ - t_{MT})}{G_M r_{np} W_0 H} (G_{r_1} \cdot C_{r_1} \cdot L_1 + G_{r_2} \cdot C_{r_2} \cdot L_2) \quad (14)$$

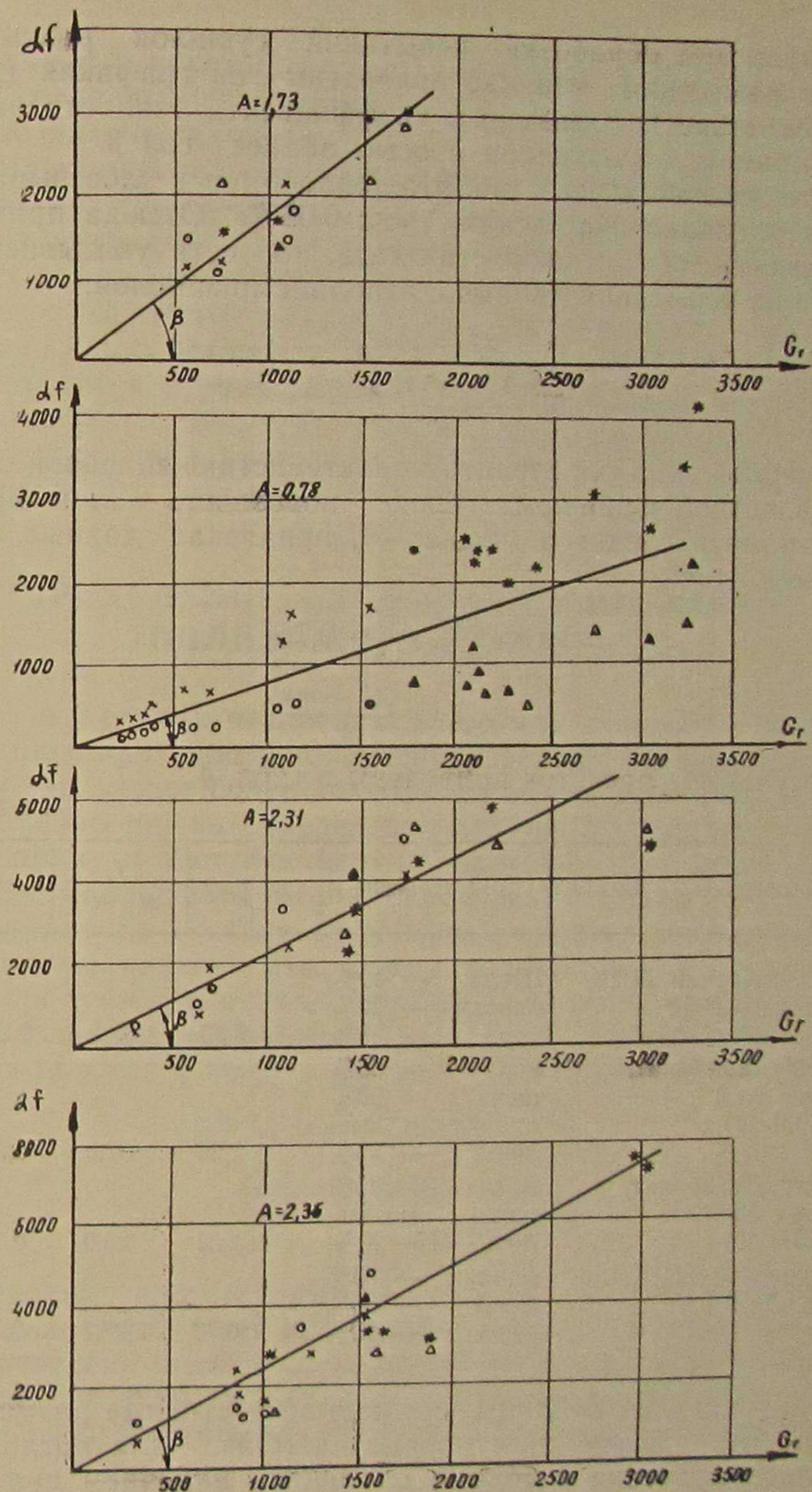


Рис. 2.

Результаты обработки испытаний сушилок разных котлов на различном топливе приведены на графиках (рис. 2). Среднее значение объемного коэффициента теплоотдачи выражает прямая, образующая с осью абсцисс угол β .

В то же время известно, что теплообмен в слое выражается в критериальной форме как $Nu \cong 0,05 Re$. Отсюда приходим к зависимости αf от скорости газа, то есть увязываем полученные из испытаний данные с аэродинамикой слоя:

$$\alpha f = A w_0 \quad (15)$$

где
$$A = 0,05 \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{\gamma^\circ}{g} \cdot f \quad (16)$$

Теперь можно определить характеристики шаровой засыпки, эквивалентной реальному слою: порозность — m и эффективный диаметр среднего куска — δ , привлекая данные о сопротивлении слоя:

$$\Delta p \cong \frac{\rho w^2}{m^{4,2}} \cdot \frac{H}{\delta} \cdot 0,75 \quad (17)$$

$$f = \frac{6(1-m)}{\delta} \quad (18)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п.	Исследуемый объект	Вид топлива	A , ккал/м ⁴ °С	f , м ² /м ³	m	δ , мм
1.	Цигломенский ЛДК, котел ДКВ-10	Щепа — 40% опилки — 40% кора — 20%	1,73	63,8	0,28	68
2.	Архбумкомбинат, котел № 1 (НЗЛ-40)	кора — 60% щепа — 20% опилки и мелочь — 20%	2,36	87,0	0,29	50
3.	Архбумкомбинат, котел № 2 (НЗЛ-40)	кора — 80—85% опилки и мелочь — 15—20%	2,31	85,0	0,36	45
4.	Боровский ЛДК, котел ДКВ-6,5	опилки — 60% щепа — 30% кора — 10%	0,78	28,7	0,33	140

Как видно из таблицы, средние эффективные размеры куска сильно отличаются для разных топлив. Для котла ДКВ-6,5 большое значение δ можно объяснить наличием значительной

доли опилок и крупных палок в топливе. Газ, проходя через опилки, продельывает каналы в слое, охватывающие довольно большие скопления опилок.

С целью определения границ применения предлагаемого метода расчета сушилки проведены лабораторные опыты по сушке образца топлива и нахождения критической влажности — $W_{кр}$. В результате найдено, что для коры $W_{кр} = 38—48\%$ и зависит от толщины частички. Это подтверждает, что сушка высоковлажных отходов в исследованных сушилках в основном проходит в первом периоде. На основании проведенного экспериментально-теоретического анализа в работе предлагается метод инженерного расчета каскадно-лотковых сушилок для высоковлажного топлива.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЖИГАЕМОГО ТОПЛИВА ПО СОСТАВУ ГАЗОВ

В связи с резким различием влажности отдельных компонентов топлива при сжигании смеси древесных отходов встал вопрос об изыскании более точного метода определения влажности. Особенно важно определение влажности топлива, прошедшего сушилку и поступающего на сжигание. Для этого был использован балансовый метод определения влажности сжигаемого топлива по составу полученных продуктов сгорания.

Используя зависимость между влажностью топлива и составом продуктов горения, а также принимая элементарный состав различных компонентов древесных отходов одинаковым, выведена простая формула определения влажности:

$$WP = 100 - \frac{100}{A + 0,451} \%,$$

где

$$A = \frac{98,6d}{CO_2} - \frac{1,22}{CO_2} - 0,05d$$

Определив влагосодержание и CO_2 в газах за котлом, легко можно подсчитать влажность сжигаемого древесного топлива. Проведена оценка получаемой погрешности при применении указанной формулы. Относительная погрешность определения влажности сжигаемого топлива по составу газов составляет около 4%.

Экспериментальная проверка метода произведена на трех

объектах. Влагосодержание газа определялось пропусканием части его через улавливающую систему. Подобрана простая аппаратура для улавливания влаги из газа.

ВЫВОДЫ

1. Анализ древесных отходов как сырья для энергохимической переработки показал, что они могут служить базой для получения лесохимических продуктов.

Древесные отходы имеют высокую влажность, разнообразный фракционный состав, относительно плохую сыпучесть, загрязненность минеральными примесями. Это необходимо учитывать при конструировании отдельных узлов аппаратов для энергохимической переработки.

2. Опыты на полужаводской энергохимической установке Архбумкомбината наряду с данными работы энергохимического комплекса на заводе «Вахтан» и организацией сжигания различных отходов в топке скоростного горения на других предприятиях показали возможность перехода к энергохимическому использованию рядовых древесных отходов и заострили внимание на решении отдельных вопросов проблемы.

3. Теоретические предпосылки построения тракта топливоподачи прошли проверку при моделировании схода топлива на Цигломенском ЛДК и Архбумкомбинате. Результаты моделирования применены на ряде других котлоагрегатов и используются при проектировании новых объектов.

4. Длительная работа по пуску и наладке котла ДКВ-10 на Цигломенском ЛДК с топкой скоростного горения и двухпоточной сушилкой по энергетической схеме завершена. Подготовлен переход на энергохимическое использование рядовых древесных отходов в условиях лесопильно-деревообрабатывающего предприятия.

5. Созданы и прошли длительную проверку топочные устройства для сжигания коры целлюлозно-бумажных предприятий, которые показали возможность их дальнейшего приспособления для перевода на энергохимическое использование. При этом были получены значительные достижения в обеспечении бесперебойного схода коры, но эти работы требуют продолжения.

6. Каскадно-лотковые сушилки с трактом плавных очертаний могут быть применены как при организации энергохимического использования рядовых древесных отходов, так и при сжигании высоковлажных отходов. Исследование их работы пока-

зывает, что интенсивность сушки достигает 0,6—0,7 кг/кг сухого топлива.

7. Разработаны основы расчета процесса сушки древесного топлива в каскадно-лотковой сушилке. Предложен метод расчета сушилки для высоковлажного топлива. Проведены опыты по накоплению материала с целью определения границ применения указанного метода расчета.

8. Предложен балансовый метод определения влажности сжигаемого древесного топлива по составу газов. Выведена формула зависимости влажности топлива от содержания влаги и CO_2 в продуктах сгорания. Метод позволяет более точно судить о влажности смеси древесных отходов при резко отличающейся влажности отдельных компонентов и особенно удобен при исследовании работы топки с сушилкой.

9. Опыт совместного сжигания древесных отходов и генераторного газа показал, что котел с топкой скоростного горения может работать как многотопливный, без больших затрат на его реконструкцию. Предлагаемую конструкцию газовой горелки можно использовать при организации энергохимического процесса.

10. Метод энергохимического использования древесных отходов в топке скоростного горения может быть широко применен на предприятиях Северо-Запада. Показана база, которая может обеспечить выработку более 50 тыс. т смолы.

Основное содержание работы изложено в следующих статьях:

1. Трофимов Е. А. Сжигание генераторного газа в топках установок ПСТ-1-200, — «Гидролизная и лесохимическая промышленность», № 7, 1964 г.

2. Егоров А. И., Пиир А. Э., Трофимов Е. А. Опыт использования генераторного низкокалорийного газа в Верховском леспромхозе, — ИВУЗ, «Лесной журнал», № 1, 1965 г.

3. Померанцев В. В., Курчунов Ю. Н., Сыркина К. Д., Трофимов Е. А. Энергохимическое использование древесных отходов. — В сб. «Вопросы энергетики Северо-Западного экономического района», НТОЭП, вып. 2, Арх-ск, 1966 г.

4. Гусаковский Е. Б., Трофимов Е. А. и др. Опыт сжигания отжатой коры в топке скоростного горения с обращенным слоем. — В сб. «Вопросы энергетики Северо-Западного экономического района», НТОЭП, вып. 2, Арх-ск, 1966 г.

5. Трофимов Е. А. и др. Испытание, доводка и исследование отдельных узлов топки с обращенным дутьем на древесных отходах и коре. — НИИ информтяжмаш, «Энергетическое машиностроение», вып. 10, М., 1966 г.

Отзывы на автореферат просим
присылать по адресу:

Ленинград, К-18, Институтский пер., 5,
ЛТА им. С. М. Кирова,
Ученый совет.