

В случае равенства осевых моментов  $I_y(\xi) = I_z(\xi) = I(\xi)$  формула (6) примет вид

$$C_0 = \frac{2G}{l-b} \cdot \int_a^{l-b} \frac{d\xi}{I(\xi)} \quad (8)$$

Рассмотрим пример при следующих данных: объем пакета  $V_n = 19,53 \text{ м}^3$ ; масса пакета  $M_n = 14,9 \text{ т}$ ; средний диаметр хлыстов  $d_{ср} = 28 \text{ см}$ ; длина пакета  $l = 23 \text{ м}$ ; свес комлевой части  $a = 1,1 \text{ м}$ ; пролет между опорами — 16,5 м.

Осевой момент инерции пакета по Гастеву — Цофину

$$I(x) = 29,7 (0,084 - 0,016x^{0,5})^3 \text{ м}^4.$$

Интенсивность массы по Цофину

$$m(x) = 1,644 - 0,311x^{0,5} \text{ т/м},$$

значит,

$$\int_a^{l-b} \frac{d\xi}{I(\xi)} = \frac{1}{29,7} \int_{1,1}^{17,6} (0,084 - 0,016x^{0,5})^{-3} = 24\,672,2.$$

При нормальном модуле упругости  $E = 10^{10} \text{ Н/м}^2$  и модуле сдвига

$$G \approx \frac{10^{10}}{2(1+0,3)} = 3,8461538 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$$

угловая жесткость пакета

$$C_0 = \frac{2 \cdot 3,8461538 \cdot 10^9}{24672,2} = 311780,5 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}.$$

Используя формулы (6) и (8), можно также контролировать правильность определения осевого момента инерции пакета путем экспериментального определения его угловой жесткости.

УДК 662.62 : 662.612.3

## КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ИЗ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

В. К. ЛЮБОВ, С. М. ШЕСТАКОВ, В. Ю. ЗАХАРОВ,  
О. А. ЛЮБОВА

Архангельский лесотехнический институт  
Ленинградский политехнический институт

Одна из важных задач котлостроения — создание унифицированных по топливу парогенераторов. Актуальность данной задачи определяется как необходимостью перевода индивидуального производства котлоагрегатов в серийное поточное изготовление унифицированных блоков, так и использованием на электростанциях нерасчетных топлив все более низкого качества.

Опыт низкотемпературного вихревого сжигания широкой гаммы топлив [3] показал, что топки Ленинградского политехнического института (ЛПИ) достаточно унифицированы по топливу, т. е. режим работы топки мало зависит от характеристик топлива. В связи с этим значительный интерес представляет проверка данной схемы при организации совместного сжигания некондиционных древесных отходов с дробленным углем, расчетное обоснование возможности которого приведено в работе [5].

На ТЭЦ Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК) и многих других станциях Северо-Западного экономического района сжигают интинские, кузнецкие и воркутинские каменные угли, однако достаточно надежных экспериментальных данных по кинетике выхода летучих для данных углей нет. Ввиду этого для выполнения расчетного анализа процесса воспламенения топливной смеси, при условии совместного сжигания неликвидных древесных отходов с немолотыми углями данных марок в топке ЛПИ, нами проведено исследование кинетических характеристик данных углей на экспериментальной установке.

Установка выполнена на базе серийно выпускаемого прибора — дериватографа, конструкция и принцип действия которого приведены в работе [2]. Данный прибор

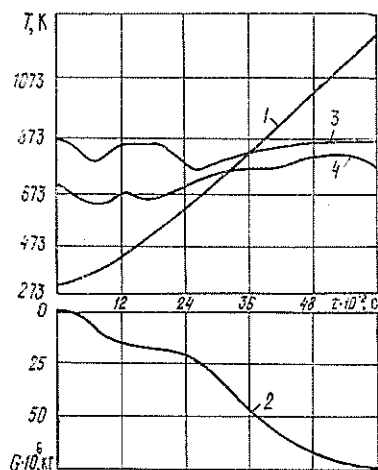


Рис. 1. Дериватограмма интинско-го длиннопламенного угля: 1 —  $T$ ; 2 —  $TG$ ; 3 —  $DTG$ ; 4 —  $DTA$

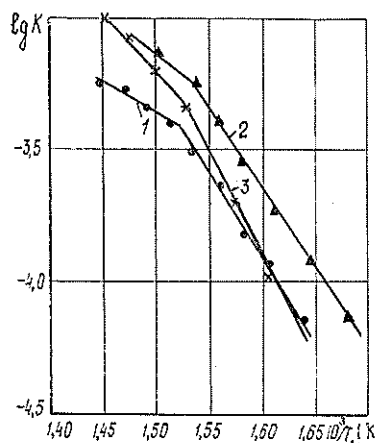


Рис. 2. Зависимость логарифма константы скорости выхода летучих от температуры: 1 — интинский уголь; 2 — кузнецкий газовый; 3 — воркутинский жирный уголь

позволяет автоматически регистрировать четыре кривые (рис. 1), характеризующие процесс термического превращения вещества: изменение температуры нагрева  $T$ ; массы исследуемого вещества  $TG$ ; скорость изменения массы вещества  $DTG$ ; тепловой эффект реакции  $DTA$ .

Т а б л и ц а 1

## Основные теплотехнические характеристики углей

Уголь	Влажность $W$ , %	Выход летучих на горючую массу $V^r$ , %	Зольность на сухую массу $A^r$ , %	Теплота сгорания на рабочую массу $Q_H^p$ , МДж/кг
Интинский, Д	5,8	39,8	8,5	19,4
Кузнецкий, Г	6,0	42,2	3,1	26,2
Воркутинский, Ж	2,3	39,0	5,0	25,4

Примечание. Д — длиннопламенный; Г — газовый; Ж — жирный.

Опыты с пробами исследуемых углей (табл. 1) проводили при одинаковых условиях с целью получения сопоставимых результатов. Навеска составляла 200 мг, топливо нагревалось до температуры 1 273 К с постоянной скоростью 0,167 К/с, через печь пропускали предварительно очищенный азот в количестве  $(2,5 \dots 3,2) \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ . Фракционный состав исследуемых углей характеризовался  $D_{63} = 100\%$  [2].

Анализ полученных дериватограмм термического разложения позволил определить температуры, соответствующие началу выхода летучих и максимальной скорости газовой выделению для исследования углей (табл. 2).

При температурах 1 100 К и выше выход летучих для интинского (рис. 1), кузнецкого газового и воркутинского каменных углей настолько мал, что процесс термического разложения можно считать практически законченным. Опыты показали, что в начальной стадии процесса термического разложения наблюдаются эндотермические эффекты. Первый эндотермический пик, имеющий место при температуре 373 К, соответствует процессу сушки (рис. 1) и называется пиком сушки. Второй эндотермический эффект для интинского угля начинается при температуре 435 К (393 К для кузнецкого, Г) и имеет экстремальное значение при 510 К (460 К для кузнецкого, Г) [3], при этом газовой выделению начинается позже, чем начинается второй эндотермический эффект, и даже наступает его пик (рис. 1). Это несовпадение свидетельствует о том, что газовой выделению предшествует скрытый период термической деструкции сложного органического

Таблица 2

## Основные характеристики процесса выхода летучих

Уголь	Температура		Кинетические характеристики	
	начала выхода лету- чих $T_{в. л.}$ К	максималь- ной скорости газовыделе- ния $T_{в. л. макс.}$ К	$K_0$ , 1/с	$E$ , Дж/моль
Интинский, Д	613	686	$17,9 \cdot 10^5$	121 600
	536	—	$19,5 \cdot 10^4$	100 500
Кузнецкий, Г	593	669	$8,7 \cdot 10^5$	114 600
	523	—	$5,8 \cdot 10^4$	92 200
Воркутинский, Ж	623	688	$26,0 \cdot 10^7$	147 300
	550	—	$28,5 \cdot 10^6$	118 000

Примечание. В числителе — данные выхода летучих при термическом разложении; в знаменателе — выхода летучих при горении топлива.

вещества угля. При дальнейшем нагреве исследованных топлив постепенно начинают преобладать экзотермические эффекты.

При анализе процесса термического разложения твердого топлива использовали уравнение реакции первого порядка, позволяющее значительно упростить анализ процесса и вместе с тем получить достаточно точные результаты [3, 4]. Обработку дериватграмм и расчет константы скорости химической реакции проводили по методике [3]. На основании полученных результатов строили зависимость  $\lg K = f(1/T)$  (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что процесс термической деструкции, от начала активного образования и выделения летучих веществ и почти до момента максимальной скорости газовой выделенной, характеризуется протеканием химических реакций, которые соответствуют уравнению реакции первого порядка. Однако для последующего периода процесса термического разложения топлива линейный характер этой зависимости нарушается и появляется характерный излом для всех исследованных углей, свидетельствующий о том, что или действительный порядок реакции несколько отличается от единицы, или на данной стадии процесс проходит с другими кинетическими характеристиками. С точки зрения процесса воспламенения, наибольший интерес представляет начальный участок выхода летучих.

Обработка зависимостей  $\lg K = f(1/T)$  в предположении, что константа скорости химической реакции  $K$  и температура взаимосвязаны по закону Аррениуса [4], позволила определить значения энергии активации  $E$  и предэкспоненциального  $K_0$  множителя (табл. 2), характеризующие кинетику процесса. Кажущиеся кинетические константы выхода летучих при горении топлива определяли на той же установке в воздушной среде (нагрев проводили до температуры 1 273 К), полученные значения приведены в табл. 2.

Сравнение полученных данных с константами, определенными другими авторами, для топлив, близких к исследованным по теплотехническим характеристикам, подтверждает достоверность полученных результатов [1]. Базируясь на данные работы [6], определили кинетические константы термоллиза древесных частей:  $K_0 = 133,5$  1/с,  $E = 32\ 300$  Дж/моль.

Характер выхода летучих из частиц древесины значительно отличается от выхода из исследованных углей; однако расчет процесса воспламенения топливной смеси при совместном сжигании некондиционных древесных отходов (подача производится в вихревую зону) с немолотым углем показал, что многократная циркуляция крупных топливных частиц в вихревой зоне создает условия для устойчивого воспламенения и горения топлив, значительно отличающихся друг от друга по теплотехническим и кинетическим характеристикам, и позволяет сблизить эмиссионные характеристики топливного пламени. Экспериментальным подтверждением этого является опыт низкотемпературного вихревого сжигания торфа, сланца, каменных и бурых углей, мазута.

Таким образом, схема ЛПИ — наиболее оптимальный метод организации энергетического использования неликвидных древесных отходов [5] (в условиях АЦБК); эту схему можно принять за основу при разработке парогенераторов, унифицированных как по топливу, так и по отдельным узлам и элементам.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Виленский Т. В., Хэмаляна Д. М. Динамика горения пылевидного топлива (исследования на электронных вычислительных машинах). — М.: Энергия, 1977. — 248 с. [2]. Глущенко И. М. Термический анализ твердых топлив. — М.: Металлургия, 1968. — 192 с. [3]. Любов В. К. Изучение особенностей горения крупных частиц натурального топлива с целью повышения эффективности работы вихревых топок

ЛПИ. Дис ... канд. техн. наук.— Л., 1984.— 251 с. [4]. Основы практической теории горения/ Под ред. В. В. Померанцева.— Л.: Энергия, 1973.— 264 с. [5]. Повышение эффективности энергетического использования древесных отходов/ В. К. Любов, С. М. Шестаков, Л. Т. Дульнева, Ю. К. Опякин// Лесн. журн.— 1986.— № 4.— С. 117—119. (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Сборник задач по теории горения/ Под ред. В. В. Померанцева.— Л.: Энергоатомиздат, 1983.— 152 с.

УДК 630\*812

## ОБ ИСТИРАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА МАШИНЕ ТИПА МИВОВ-2

Г. А. ЧИБИСОВА, А. Т. БУБЛИК, О. Э. ПФЛАУМЕР

ЦНИИМОД, ВНИИстройполимер

Для стандартизации метода испытания древесины на истирание в рамках ИСО и согласно решению совещания специалистов стран-членов ИСО по стандартизации в области лесоматериалов (ноябрь 1982 г., Ташкент) ЦНИИМОДом совместно с ВНИИстройполимером проведены испытания древесины на истирание на машине МИВОВ-2 по ГОСТу 11529—75.

Истирали образец, прижатый постоянной нагрузкой к вращающемуся цилиндру, обтянутому шлифовальной шкуркой. Образец перемещался вдоль образующей цилиндра и одновременно поворачивался вокруг своей оси на 360° за два оборота цилиндра, что считалось одним циклом испытания.

Сущность метода заключается в том, что он позволяет определить величину уменьшения толщины образца при его истирании. Для испытаний образцов на машине МИВОВ-2, предназначенной для истирания полимерных и рулонных материалов для полов, были изготовлены специальные держатели. Их бортики (высотой 1 мм) позволяли фиксировать положение приклеенных образцов. Образцы (диаметром 16 мм и толщиной 5 мм) в количестве 450 шт. изготовляли из заготовок ели, дуба и бука, выдержанных в комнатных условиях до равновесной влажности по 150 шт. для каждой породы. Из них 50 шт. имели поверхность радиального разреза древесины, 50 шт. тангентального и 50 шт. поперечного. Образцы приклеивали к основанию держателя поливинилацетатной эмульсией, выдерживали под нагрузкой 4,9... 9,8 Н не менее 0,5 ч, взвешивали вместе с держателем, а затем истирали на машине МИВОВ-2 по свежей поверхности шлифовальной шкурки в течение одного цикла при нагрузке на образец 9,8 Н и пути истирания  $2 \pm 0,01$  мм. По окончании испытания держатель с образцом вынимали из патрона и взвешивали.

Уменьшение толщины  $\Delta h$ , мм, вычисляли по формуле:

$$\Delta h = \frac{m_1 - m_2}{\rho S} K \cdot 10^3,$$

где  $m_1$  — масса образца с держателем до испытания, кг;

$m_2$  — масса образца с держателем после испытания, кг;

$\rho$  — плотность материала образца, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  — площадь образца, м<sup>2</sup>;

$K$  — коэффициент, характеризующий истирающую способность шлифовальной шкурки, используемой при испытании; определяют его по истираемости эталона.

Статистические показатели истираемости древесины по результатам испытаний приведены в табл. 1.

Выборочные средние показателей истирания  $\bar{X}$  свидетельствуют о меньшей истираемости древесины твердых пород (дуб, бук). Износ боковых поверхностей древесины (радиальной и тангентальной) у всех испытанных пород значительно больше, чем торцовой. Причем у ели и бука больше истирается радиальная поверхность, а у дуба — тангентальная, что объясняется большей твердостью радиальной поверхности дуба. Коэффициент изменчивости  $V$  характеризует умеренное рассеяние опытных данных. Неравномерность распределения плотности по высоте образца, равной 5 мм, практически не влияет на результаты испытаний.

Зависимость истираемости древесины от ее плотности проверили экспериментально. В табл. 2 приведены регрессионные показатели и уравнения связи показателя истирания с плотностью.

Данные табл. 2 свидетельствуют о наличии корреляционной связи между истираемостью древесины, характеризуемой уменьшением толщины образца  $\Delta h$ , и ее плотностью  $\rho$ . Для торцовых поверхностей разреза ели и бука эта связь очень слаба ( $r = 0,161$  и  $0,235$ ) и незначима. Исключение составляет дуб. Для боковых поверхностей разреза древесины связь умеренная ( $r = 0,523 - 0,587$ ) и ниже умеренной