

применять как энергетическое топливо. В настоящее время на технологическую щепу используют почти в 2 раза меньше отходов древесины.

Если средняя влажность таких древесных отходов равна 40 %, а средняя плотность смеси разных пород — 730 кг/м<sup>3</sup>, то теплота сгорания равна 10 650 кДж/кг, что в условном топливе составляет 12,6 млн т.

При производстве древесных плит и фанеры в значительных количествах образуется древесная пыль. Ее можно использовать как энергетическое топливо, например, в топках для получения теплоты при сушке технологической щепы в производстве древесно-стружечных плит.

Количество древесных отходов, которое можно использовать в качестве топлива на фанерных, древесно-плитных мебельных предприятиях, составит 20—30 % от объема этого сырья.

При окорке древесины на лесозаготовительных, лесопильно-деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных предприятиях скапливается много коры, которую в основном вывозят в отвалы. В леспромхозах некоторое количество коры сжигают в смеси с другими древесными отходами. В зависимости от породы древесины, возраста и других факторов кора составляет от 8 до 15 % к объему ствола дерева. На лесопильно-деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных предприятиях коры образуется в среднем около 10 % от объема поступившей древесины. При механической окорке в состав коры попадает частично и подкорковая древесина. Перед предприятиями стоит задача использовать кору в качестве котельного топлива.

Таким образом, древесные отходы являются энергетическим топливом для предприятий лесной, деревообрабатывающей промышленности и лесного хозяйства. Для повышения эффективности использования топливных древесных отходов необходимо установить на них цены с градацией по видам. Для улучшения потребительских качеств древесной коры и других мелких древесных отходов целесообразно готовить брикеты для использования, прежде всего, в качестве бытового топлива. Имеющиеся ресурсы неиспользуемых древесных отходов позволяют в текущем пятилетии вдвое увеличить их применение.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности: Справочник.— М.: Экономика, 1983. [2]. Использование низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок. ЦНИИМЭ: Справочник / Под ред. Ф. И. Коперина.— М.: Лесн. пром-сть, 1970. [3]. Михайлов В. А. Отходы древесины — топливно-энергетические ресурсы // Обзор, информ. по зарубежным источникам: ВНИПИЭ-леспром.— М., 1980. [4]. Морозов А. В. Древесные отходы как котельное топливо // Электро- и теплоснабжение предприятий лесной промышленности и лесного хозяйства: Сб. лекций / ЦПНТО.— М.: Лесн. пром-сть, 1985.— С. 50—75. [5]. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года.— М.: Политиздат, 1986.— 95 с. [6]. Industrial Wood Energy // Forest Industries.— 1984.— Февр.— С. 55—59.

Поступила 11 августа 1986 г.

УДК 662.921

### АЭРОДИНАМИКА ЦИКЛОННОЙ КАМЕРЫ, ЗАГРУЖЕННОЙ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ДРЕВЕСНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ

Э. Н. САБУРОВ, Ю. Л. ЛЕУХИН, С. И. ОСТАШЕВ,

**А. И. ЕГОРОВ**, И. Ф. КОПЕРИН

Архангельский лесотехнический институт, ЦНИИМЭ

С развитием производства древесно-стружечных плит возникла довольно сложная задача использования отходов этого производства — древесно-шлифовальной пыли (ДШП). Энергетическое использование

ДШП из-за ее взрыво- и пожароопасности, химической агрессивности шлака по отношению к обмуровке топочных устройств сопряжено с определенными трудностями [1].

Один из наиболее перспективных и целесообразных способов сжигания ДШП — циклонный. В связи с тем, что преимущества циклонных топок определяются прежде всего аэродинамической структурой и организацией движения топочных газов, изучение особенностей их аэродинамики имеет большое практическое значение [3].

В настоящей работе изложены результаты первого этапа экспериментального исследования аэродинамики циклонной топки, выполненные на изотермической модели.

Опыты проводили при различных концентрациях двухфазного потока и геометрических параметрах модели циклонной топки. При этом на первом этапе влияние на аэродинамику несущего потока условий, учитывающих специфику процесса горения (изменение массы частицы, ее сопротивление потоку и т. д.) и сепарации частиц на шлаковую пленку, не моделировали и не изучали. Особое внимание в опытах было уделено изучению условий образования «завалов» в рабочем объеме камеры, т. е. условий, при которых закрученный воздушный поток оказывался перегруженным и не обеспечивал поддержания во взвешенном состоянии всей вводимой в него пыли.

Аэродинамику двухфазного закрученного потока исследовали на экспериментальном стенде, схема которого представлена на рис. 1.

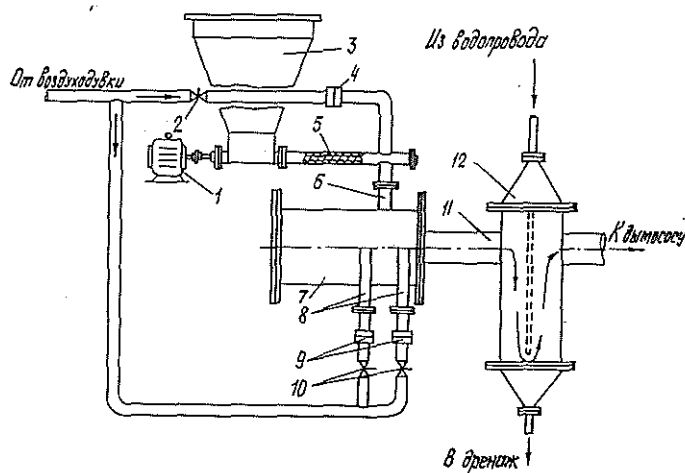


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 — электродвигатель; 2 и 10 — заслонки; 3 — бункер пыли; 4 — диафрагма первичного воздуха; 5 — питатель шнековый; 6 — шлиц первичного воздуха; 7 — модель циклонной топки; 8 — шлицы вторичного воздуха; 9 — диафрагмы вторичного воздуха; 11 — выхлопной патрубок; 12 — скруббер

Основной элемент стенда — металлическая модель циклонной камеры длиной 596 мм с внутренним диаметром  $D = 312$  мм. Воздух подавали в камеру с двух диаметрально противоположных сторон при помощи шлицев, имеющих общее смещение к выходному торцу и расположенных в шахматном порядке. В поперечном сечении шлицы имеют форму квадрата со стороной 45 мм. Вторичный воздух подавали через два нижних шлица от распределительного коллектора. Каждое сопло имело заслонку и измерительную диафрагму. Первичный воздух в количестве 5—11% от общего объема, поступающего в модель воздуха, вместе с древесно-шлифовальной пылью подавали через верхний шлиц. Относительная приведенная площадь входа (для воздуха)  $f_{вх. пр} = 4f_{вх. пр} / \pi D^2$  равнялась  $5,87 \cdot 10^{-2}$  ( $f_{вх. пр} = f_{вх2} + f_{вх1} w_{вх1} / w_{вх2}$ , где  $f_{вх1}$ ,  $f_{вх2}$  и  $w_{вх1}$ ,  $w_{вх2}$  — соответственно площади и скорости входа потока первичного и вторичного воздуха).

Вывод пылегазового потока из камеры осуществлялся через соосное с рабочим объемом отверстие в одном из его торцов диаметром 125 мм.

Для визуализации потока торцевые стенки циклонной камеры были выполнены прозрачными из оргстекла, а на боковой (цилиндрической) части камеры с противо-

положных сторон были сделаны два прямоугольных окна (размером  $495 \times 118$  мм<sup>2</sup>), закрытых специальными вставками из оргстекла. Длину рабочего объема модели циклонной топки изменяли при помощи передвижного дна камеры. Длина камеры в безразмерном виде  $\bar{L} = L/D = 1,00 \dots 1,91$ .

Непрерывную подачу древесно-шлифовальной пыли в циклонную камеру осуществляли с помощью шнекового питателя с диаметром шнека 78 мм. Число оборотов шнека могло меняться плавно от 0 до 60 об/мин. Выходящий из камеры запыленный поток через патрубков длиной 500 мм подавали в водяной скруббер, где происходила его очистка.

Полный расход воздуха на установку, а также расходы первичного и вторичного воздуха определяли при помощи дроссельных расходомеров — нормальных диафрагм. Статические давления в подводящих трубопроводах, шлицах и в патрубке на выходе из камеры измеряли через дренажные отверстия диаметром 0,5 мм.

В процессе работы снимали поля скоростей и давлений в рабочем объеме циклонной камеры. В качестве пневмометрического насадка использовали трехканальный цилиндрический зонд. Диаметр его приемной части равнялся 2,6 мм. Перемещение зонда в измерительных сечениях и его ориентировку в закрученном потоке производили координатником с ручным приводом конструкции ЛПИ с микровинтом, дающим точность отсчета поперечной координаты до 0,025 мм. Для предотвращения забивания импульсных отверстий цилиндрического зонда пылью во время его перемещения между измерениями, как и в работе [2], зонд отключали от измерительных магистралей и подключали к продувочным.

Средняя массовая концентрация твердого вещества в потоке, определяемая как отношение расхода топлива (кг/ч) к расходу воздуха (кг/ч), изменялась от 0 до 0,0923 кг/кг. Гранулометрический состав ДШП: частицы размером менее 50 мк составляли 35 %, менее 100 мк — 63 % и более 200 мк — 14 %.

Выполненные исследования показали, что местоположение шлиц как вторичного воздуха, так и пылевоздушной смеси на образующей влияет на характер движения и распределение пыли в объеме топки. Как и в работе [2], установлено, что в зависимости от их взаимного расположения пыль может либо сразу покинуть циклонную камеру, либо под действием более сложных осевых течений перемещаться к переднему глухому торцу и находиться в топочном устройстве значительно больше время. С точки зрения минимального выноса частиц древесно-шлифовальной пыли из циклонной камеры и максимального их времяпрепровождения там, наиболее рационален ввод вторичного воздуха и пылевоздушной смеси, смещенный к выходному торцу рабочего объема.

При всех исследованных концентрациях вводимая в камеру пыль под действием центробежных сил прижимается к боковой поверхности, а под влиянием пристенного обратного периферийного тока движется к переднему глухому торцу камеры. На рис. 2 представлено распределение пыли по длине и у торцов рабочего объема циклонной камеры при средней концентрации топлива в потоке, равной 0,0242 кг/кг.

При визуализации течения через прозрачные боковые окна отчетливо просматривалось в поперечном сечении камеры между левым нижним и верхним шлицами топливное кольцо. Вся вводимая в камеру пыль смещалась к топливному кольцу, совершала несколько оборотов в поперечном сечении и уже от этого кольца равномерно растекалась по боковой поверхности по направлению к глухому торцу. Угол закрутки частиц пыли (угол между касательной к траектории движения частиц и нормалью к образующей), в части камеры ниже сечения топливного кольца, был практически постоянным и равнялся  $24 \dots 26^\circ$ .

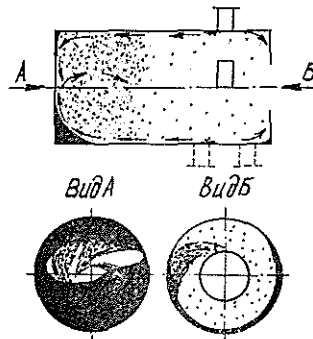


Рис. 2. Распределение пыли по объему циклонной камеры с  $\bar{L} = 1,91$  при концентрации топлива в потоке 0,0242 кг/кг

Наиболее высокая концентрация пыли в рабочем объеме модели циклонной топки наблюдалась у ее глухого торца. При этом часть пыли начинала выпадать в неподвижный завал уже при минимальных ее подачах. (В дальнейшем, как и в работе [2], было установлено, что условия появления завалов зависят от соотношения расходов пыли и воздуха, уровня тангенциальных скоростей потока, распределения и уровня осевых скоростей и распределения пыли в рабочем объеме).

Над завалом у глухого торца вращалось и непрерывно пульсировало пылевое облако с наиболее высокой пылевой концентрацией. Это облако хорошо просматривалось через прозрачный выходной торец камеры. С увеличением концентрации подаваемого потока возрастали размеры завала, а также размеры и плотность пылевого облака. Под действием закрученного потока часть пыли, питающая верхние подвижные слои завала, срывалась и направлялась в сторону выходного отверстия камеры. При этом отчетливо просматривался пылевой закрученный жгут примерно до середины длины модели. По мере движения жгута к выходному торцу происходило отделение и сепарация наиболее крупных частиц. Основная масса частиц сепарировалась непосредственно у глухого торца. Именно этим обусловлено возникновение вращающегося и пульсирующего облака пыли.

Наиболее мелкие частицы пролетали дальше, покидали камеру или успевали отсепарироваться в части камеры между выходным торцом и входными шлицами. Эти отсепарированные частицы под действием торцевых перетечек несущего потока перемещались к выходному отверстию и покидали рабочий объем (рис. 2). У выходного торца пыль концентрировалась в основном у боковой поверхности в нижней части камеры. Переток пыли в выходное отверстие происходил главным образом в левой верхней четверти торца, что определялось действием не только радиальных перетечек, но также гравитационных сил.

В опытах не наблюдалось отскоков частиц от боковой поверхности камеры и связанных с этим эффектов. Форма траектории даже самых

крупных частиц ДШП здесь совпала с окружностью (в свету).

Как видно из рис. 3, введение пыли в объем циклонной камеры привело к качественному изменению ее аэродинамики. (На рис. 3  $\bar{w}_\varphi = w_\varphi / w_{вх}$  и  $\bar{w}_x = w_x / w_{вх}$ , где  $w_{вх}$  — среднерасходная скорость воздуха в шлицах, определяемая как отношение общего объемного расхода подаваемого в камеру воздуха к  $f_{вх, пр}$ ). Значительные затраты энергии на вращение и перемещение пыли по объему топки, наличие завала и пылевого облака у глухого торца обуславливают не только падение уровня тангенциальных скоростей, но и существенное перестроение профиля  $w_\varphi$ . Исчезает зона квазипотенциального вращения, профиль  $\bar{w}_\varphi$  приобретает ниспадающий от боковой поверхности рабочего объема характер. Такое распределение  $w_\varphi$  устанавливалось уже при минимальных концентрациях топли-

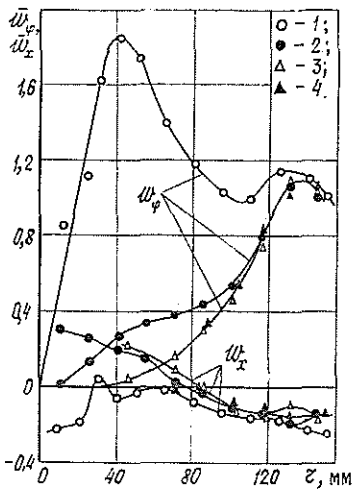


Рис. 3. Распределения безразмерных тангенциальной  $w_\varphi$  и осевой  $w_x$  составляющих скорости в объеме циклонной камеры ( $\bar{L} = 1,91$ ;  $x = 1,71$ ) при различных средних массовых концентрациях твердого вещества в потоке: 1 — 0 кг/кг; 2 — 0,0032 кг/кг; 3 — 0,0115 кг/кг; 4 — 0,0242 кг/кг

ва в потоке и сравнительно слабо менялось при их изменениях. Уровень крутки потока падал по направлению от выходного к глухому торцу камеры. Введение пыли в воздушный поток привело также к некоторой перестройке профиля осевой скорости. Особенно существенно это изменение в приосевой области камеры, где ликвидируется осевой обратный ток.

Падение уровня крутки в рабочем объеме привело к значительному снижению коэффициента сопротивления циклонного устройства. Так, уже при минимальных исследованных концентрациях коэффициент сопротивления уменьшился на 70 % и практически не зависел от их дальнейшего изменения.

Уменьшение длины рабочего объема модели циклонной топки до 1,40 при неизменных остальных геометрических характеристиках не привело к коренным изменениям ее аэродинамики. Подаваемая пыль также вся смещалась в сторону глухого торца, где происходит ее основная концентрация, образуются пылевое облако и завал. В то же время более высокий уровень крутки запыленного потока у глухого торца и более высокая равномерность распределения тангенциальной скорости по длине камеры приводят к тому, что значительно меньшая доля подаваемой пыли концентрируется у переднего торца камеры и выпадает в завал. Величина и форма завала у глухого торца камеры с  $\bar{L} = 1,4$  значительно отличаются от ранее рассмотренных для камер с безразмерной длиной  $\bar{L} = 1,91$  при тех же концентрациях запыленного потока.

Дальнейшее уменьшение длины рабочего объема до  $\bar{L} = 1$  приводит к некоторому изменению характера распределения пыли по камере в зависимости от средней массовой концентрации твердого вещества в потоке. Лишь при наименьшей исследованной концентрации топлива в потоке 0,0115 кг/кг течение пылевзвеси было таким, как у камер с  $\bar{L} = 1,91$  и  $\bar{L} = 1,40$ . Однако даже при такой концентрации плотность пылевого облака у глухого торца была значительно ниже, чем у камер с большей длиной. Повышение концентрации топлива приводит к увеличению протяженности завала у глухого торца вдоль оси циклонной камеры. Появляется небольшой завал также в нижней части камеры у выходного торца. Эти два завала постепенно сливаются с увеличением концентрации и образуют неподвижный слой пыли, распределенный по длине рабочего объема. С появлением такого завала значительно понижается уровень крутки в объеме циклонной камеры. Исчезает облако высокой концентрации пыли у глухого торца. Поступающая в этом случае в камеру пыль начинает двигаться к выходному торцу камеры и покидает ее. Размеры и форма завала у глухого торца с увеличением концентрации изменяются незначительно, в меньшей степени, чем для камер с  $\bar{L} = 1,91$  и  $\bar{L} = 1,40$ . С возрастанием концентрации потока происходит смещение топливного кольца к выходному торцу камеры, что является результатом падения равномерности крутки по длине и снижения уровня крутки в целом.

Рассмотренное влияние параметра  $\bar{L}$  определяется изменением не только объема, но и, как будет показано в дальнейшем, относительного местоположения ввода воздуха и топлива на образующей камеры.

Сопоставляя полученные данные, можно отметить, что наилучшими аэродинамическими характеристиками из рассмотренных, вероятно, обладает камера с  $\bar{L} = 1,40$ . Для нее характерна достаточно высокая степень равномерности и уровня крутки в ее рабочем объеме. Ее аэродинамика более устойчива в широком диапазоне нагрузок.

Таким образом, нами исследована качественная картина течения двухфазного потока в циклонной камере при различных массовой кон-

центрации древесно-шлифовальной пыли, местоположении на ее образующей шлиц вторичного воздуха и пылевоздушной смеси, а также длине рабочего объема. Полученные рекомендации можно использовать при проектировании циклонных топок для сжигания древесно-шлифовальной пыли.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Древесно-шлифовальная пыль как топливо / М. Г. Сташкив, Э. П. Миговк, Я. М. Гнатышин, И. А. Биланчик // Деревообаб. пром-сть.— 1980.— № 6.— С. 18—19.  
[2]. На х а л е т я н Е. А., И с а е в С. И. О некоторых особенностях циклонного потока, несущего твердую взвесь // Теплоэнергетика.— 1957.— № 9.— С. 32—37. [3]. Циклонные топки / Под ред. Г. Ф. Кнорре, М. А. Наджарова.— М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958.— 216 с.

---

Поступила 13 декабря 1985 г.