

Отсюда

$$T = \frac{AL}{\int_0^L A_0 t_u^{-1} dl}. \quad (9)$$

Для окорки балансов с заданной степенью  $M$  необходимо, чтобы  $A = A_M$ , т. е.:

$$T_M = \frac{A_M L}{\int_0^L A_0 t_u^{-1} dl}. \quad (10)$$

Подставляя выражения (2), (9) в (1), получили формулу для определения технологической производительности корообдирочных барабанов:

$$Q_M = \frac{\pi R^2}{A_M L} \int_0^L k_d \varphi_d dl \int_0^L A_0 t_u^{-1} dl. \quad (11)$$

Аналитические зависимости  $k_d = f(l)$ ,  $\varphi_d = f(l)$ ,  $A_0 = f(l)$ ,  $t_u = f(l)$ , входящие в формулу (11), получили на основании теоретического и экспериментального анализа движения балансов в барабане. Они приведены в учебном пособии [1].

Результаты расчетов, проведенных по вышеприведенной формуле, показали хорошую сходимость с экспериментальными данными, полученными при испытаниях промышленных корообдирочных барабанов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Гаузе А. А., Гончаров В. В., Штейн Е. М. Машины для окорки древесины.— Л.: ЛТА, 1988.— 75 с. [2]. Штейн Е. М. Среднестатистическая траектория движения балансов в поперечном сечении корообдирочного барабана / ЛТИ ЦБП.— Л., 1987.— 8 с.— Деп. в ВНИПИЭлеспром 19.01.86, № 1879лб-87.

Поступила 23 октября 1989 г.

УДК 621.928.3

## РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ С БЕЗОТРЫВНЫМ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ

А. Н. ВАСИЛЬЕВ, А. Г. БАЛАКИН

ВНИИдрев

Ряд предприятий деревообрабатывающей промышленности обращаются за рекомендациями по оптимальному выбору циклонов и их геометрических размеров. Размеры обычных, классических циклонов приведены в справочной литературе. В последнее время появились авторские решения конструкций циклонов с безотрывным пограничным слоем [1, 2]. К сожалению, в заявках не даны ни основы теории, ни конструктивные размеры. Трубы для выброса чистого воздуха приводят обычно во вращение с помощью систем передач от электродвигателя или потоком, действующим на лопатки, приваренные к выхлопной трубе.

Конструкции установленных на предприятиях циклонов не учитывают особенности древесной пыли: взрывоопасности, смачиваемости, гигроскопичности, разрывной прочности слоя, насыпной плотности, дисперсного состава. В частности, влияние дисперсного состава пыли на коэффициент гидравлического сопротивления классического цикло-

на ЦН-15 (диаметром 200 мм) оценено в работе [5]. При увеличении удельной поверхности с 2 800 до 7 000 см<sup>2</sup> эффективность улавливания падала с 98 до 67 %.

Пыль, выделяющаяся при шлифовании трехслойных древесностружечных плит, имеет дисперсный состав, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр частиц $d$ , мкм	6,0	10,0	20,0	50,0	100,0
Содержание частиц размером более $d$ , %	97,5	91,0	63,0	15,0	1,2
Скорость витания частиц в газе, см/с	0,25	0,471	1,880	11,8	47,1

Для повышения эффективности фильтрации активно используют электрические силы. Однако при фильтрации древесной пыли возникают проблемы пожаро- и взрывобезопасности. Для лучшего осаждения пыль коагулируют в воздуховодах и циклонах под действием ультразвукового, электрического полей. Древесная пыль, не подвергнутая коагуляции, имеет достаточно высокие адгезионные свойства [3].

Существующие циклоны работают по принципу отрыва пограничного слоя, показывая низкую эффективность. Профиль скоростей в таких циклонах не выдерживается по пути запыленного потока, при разделении происходит столкновение частиц разной дисперсности. Гидравлические сопротивления классических циклонов, как правило, значительны.

На основании вышеизложенного можно предполагать, что циклоны с безотрывным пограничным слоем, вследствие специфических свойств древесной пыли, будут достаточно эффективно работать в деревообрабатывающей промышленности.

Математическая модель циклона с безотрывным пограничным слоем построена на принципе присоединения масс. Решим плоскую задачу, когда при движении круговой цилиндр не касается стенок прямолинейного канала (рис. 1). Считаем, что возмущенное движение газа, вызванное движением циклона, возникало из состояния покоя. Тогда потенциал скоростей возмущенного движения  $\varphi(x, y)$  удовлетворяет в физической области  $D$  (расположенной внутри прямолинейного канала и вне окружности  $\Gamma$  (рис. 1), представляющей собой контур цилиндра в перпендикулярной к его оси плоскости  $(x, y)$ ) уравнению Лапласа и следующим граничным условиям [1, 6]:

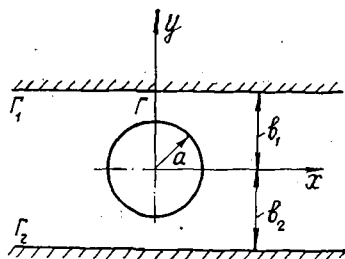


Рис. 1

$$\Delta \varphi(x, y) = 0; \quad (1)$$

$$\left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right\} = u_1 \cos(n, x) + u_2 \cos(n, y); \quad (2)$$

$$\left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right\} = 0; \quad \Gamma_1: y - b_1 = 0; \quad \Gamma_2: y - b_2 = 0. \quad (3)$$

Здесь  $n$  — направление нормали;  
 $u_1, u_2$  — составляющие скорости циклона;  
 $\Gamma, \Gamma_i$  — границы цилиндра прямолинейного канала.

Поместим начало прямоугольной декартовой системы координат в центре цилиндра. Физическую область  $D$  отобразим на вспомогательной области

$$x = \frac{a^2 \xi}{\xi^2 + \eta^2}; \quad y = \frac{a^2 \eta}{\xi^2 + \eta^2}, \quad (4)$$

где  $\xi, \eta$  — аргументы гармонической функции  $\varphi^*(\xi, \eta)$ .

Область  $D'$  расположена внутри окружности  $\Gamma^*$ :  $\xi^2 + \eta^2 = a^2$ , являющейся образом  $\Gamma$ , и вне окружностей  $\Gamma_i^*$ , являющихся образами стенок  $\Gamma_i$ :

$$\Gamma_i^*: \xi^2 + \left(\eta - \frac{1}{2} \frac{a}{b_i}\right)^2 = \frac{1}{4} \frac{a^2}{b_i^2}.$$

Краевая задача (1)–(3) в  $D'$  имеет вид

$$\Delta \varphi(\xi, \eta) = 0; \quad (5)$$

$$\left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right\} = \frac{a^2}{(\xi^2 + \eta^2)^2} \{ [u_1(\eta^2 - \xi^2) - 2u_2 \xi \eta] \cos(n, \xi) + [u_2(\xi^2 - \eta^2) - 2u_1 \xi \eta] \cos(n, \eta) \}; \quad (6)$$

$$(x, y) \in \Gamma^*$$

$$\left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right\} = 0, \quad \Gamma^* (i=1, 2). \quad (7)$$

Отыскание гармонической функции  $\varphi^*(\xi, \eta)$  по граничным условиям (6), (7) в  $D'$  сводится к нахождению минимума функционала при естественных граничных условиях:

$$I = \iint_D \left\{ \left( \frac{\partial \varphi^*}{\partial \xi} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi^*}{\partial \eta} \right)^2 \right\} d\xi d\eta^{-2} \int_{\Gamma^*} \varphi^* \psi(G) dG; \quad (8)$$

$$\left\{ \frac{d\varphi^*}{dn} \right\}_{\Gamma^*} = \psi(G).$$

Потенциал скоростей  $\varphi_i^*(\xi, \eta)$  определяем в  $D'$  с помощью метода Ритца в виде:

$$\varphi^*(\xi, \eta) + \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m A_{ij} \xi^i \eta^j. \quad (9)$$

Подставив (9) в (8), определим коэффициенты  $A_{ji}$  ( $i, j = 0, 1$ ) из следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial A_{ij}} \left( \iint_D \left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^m i A_{ij} \xi^{i-1} \eta^j \right]^2 + \left[ \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^m j A_{ij} \xi^i \eta^{j-1} \right]^2 \right) d\xi d\eta - 2 \int_{\Gamma^*} \left( \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m A_{ij} \xi^i \eta^j \right) \psi(G) dG = 0. \quad (10)$$

$$(ij = 0, m)$$

Сделав обратное преобразование, найдем потенциал скоростей  $\varphi(x, y)$  в физической области  $D$  в виде:

$$\varphi(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m (A_{ij}^{(1)} u_1 + A_{ij}^{(2)} u_2) \left( \frac{a^2 x}{x^2 + y^2} \right)^i \left( \frac{a^2 y}{x^2 + y^2} \right)^j. \quad (11)$$

Если в формуле (9) ограничиться первым приближением по Ритцу, то получим потенциал скоростей (11):

$$\varphi'(x, y) = (x u_1 + y u_2) a^2 \left[ \left( 1 - \frac{1}{4} \frac{a^2}{b_1^2} - \frac{1}{4} \frac{a^2}{b_2^2} \right) (x^2 + y^2) \right]^{-1} \quad (12)$$

При  $b_i \rightarrow \infty$  из (12) найдем точное решение гидродинамической задачи при движении цилиндра радиусом  $a$  в безграничной области, заполненной идеальной несжимаемой жидкостью [4].

Заменяя соответственно  $a = d$ ,  $b_1 = b_2 = \frac{D}{2}$  (рис. 2) и произведя обработку уравнения на компьютере, получаем геометрические размеры циклона с безотрывным пограничным слоем в зависимости от расхода запыленного потока (табл. 2).

Таблица 2

$D$ , м	0,50	0,63	0,80	0,80	0,50	0,63
$d$ , м	0,30	0,38	0,40	0,48	0,30	0,38
$u$ , м/с	16,00	20,00	16,00	25,00	16,00	20,00
$G$ , м <sup>3</sup> /ч	13 000	13 000	25 000	25 000	25 000	25 000
$L_2$ , м	1,69	1,07	2,02	1,29	3,25	2,05
$L_1$ , м	0,64	0,41	0,77	0,55	1,24	0,79

На рис. 2 приведена схема циклона с безотрывным пограничным слоем, с вращающимся цилиндром диаметром  $d$ , внешним диаметром  $D$ , размерами  $L_1$ ,  $L_2$ . Скорость пылевоздушной среды на входе в циклон —  $u$ , м/с; расход среды —  $G$ , м<sup>3</sup>/ч.

Практически на рис. 1 показана схема набегания потока на выхлопную трубу в циклоне или канале, что практически одно и то же. Расстояние  $b_1$ ,  $b_2$  — это не что иное, как расстояние стенок выхлопной трубы от стенок циклона, т. е. на величину формирующегося пограничного слоя  $\delta = \frac{5}{\sqrt{Re}}$  влияет число Рейнольдса ( $Re$ ), помимо скорости, свойств набегающей среды, гидравлического диаметра обусловленного расстоянием выхлопной трубы от стенки циклона.

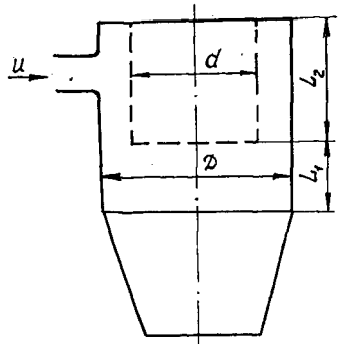


Рис. 2.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. с. 151558 СССР, Кл. 50е, 1 752262/29. Орошаемый циклон / А. В. Рыжов // Открытия. Изобрет.— 1962.— № 21.— С. 53. [2]. А. с. 286484 СССР, МПКВ 01 45/14. Пылеуловитель / Н. П. Рябинин, В. А. Снежко // Открытия. Изобрет.— 1970.— № 34.— С. 170. [3]. Зимок А. Д. Адгезия пыли и порошков.— М.: Химия, 1976.— 432 с. [4]. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа.— М.: Наука, 1978.— 736 с. [5]. Падва В. Ю. Влияние дисперсного состава пыли на коэффициент гидравлического сопротивления циклона // Промышленная и санитарная очистка газов.— 1973.— № 1.— С. 4—5. [6]. Седов Л. Н. Механика сплошной среды. Т. 2.— М.: Наука, 1973.— 584 с.

Поступила 5 сентября 1989 г.

УДК 62-52 : 62-493

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЕТА МАССОВОГО РАСХОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ НА ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ

П. Ф. ТЮРИКОВ, А. В. ДЕМЕНТЬЕВ

Красноярский инженерно-строительный институт

Развитие пневмотранспорта на предприятиях деревообрабатывающей промышленности создает условия для создания систем учета количества технологической щепы с применением микро-ЭВМ. В настоящее время учет материала на пневмотранспорте осуществляется механическими системами, которым присущи следующие недостатки: невысокая точность, низкая производительность, необходимость реконструкции действующих технологических потоков для установки таких систем, большие размеры и металлоемкость. В целом по отрасли 60 % предприятий проводят учет продукции путем обмера круглых лесоматериалов, подаваемых в рубительные машины; 12 % — по выходу готовой продукции; 11 % — по массе; 10 % — по вместимости варочных котлов; 7 % — другими способами [3, 5].

Результаты экспериментов, проведенных в пневмогидротранспортной лаборатории кафедры АСУ и автоматики Красноярского инженерно-строительного института и лаборатории пневмотранспорта СибНИИЦКа, делают возможным разработку и внедрение автоматизированных систем учета массового расхода транспортируемого материала непосредственно по давлению в трубопроводе. Такого рода системы могут быть использованы для пневмолиний, оборудованных воздушодувными машинами центробежного типа. Этот параметр пневмотранспортного потока наиболее доступен для измерения и анализа.

Работа системы основана на экспериментально полученной и теоретически подтвержденной зависимости между массовым расходом материала и давлением в трубопроводе.

Используя уравнение Навье-Стокса, рассмотрим возможность измерения расхода транспортируемого потока по давлению в трубопроводе:

$$\frac{d\rho\bar{v}}{dt} = \bar{F}_m + \nabla T, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность потока;  
 $\bar{v}$  — скорость потока;  
 $\bar{F}_m$  — массовые силы;  
 $\nabla T$  — тензор напряжений.

Предположим, что транспортируемый поток несжимаем ( $\text{div } \bar{v} = 0$ ), однороден по длине и сечению трубы ( $\rho = \text{const}$ ), вращательная скорость потока невелика ( $\nabla \bar{v} = 0$ ). С учетом этих допущений, из уравнения Навье-Стокса (1) получаем уравнение Эйлера для идеальной среды [2, 6]:

$$\rho \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F}_m - \nabla p. \quad (2)$$

Здесь  $\nabla p = \frac{\partial p}{\partial x} \bar{l}_x + \frac{\partial p}{\partial y} \bar{l}_y + \frac{\partial p}{\partial z} \bar{l}_z$  — градиент давления.