

КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА С ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ В КАНАЛАХ ПЕРВОГО РОТОРА РОТОРНО-ВИХРЕВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ТОНКОГО ПОМОЛА

В статье рассмотрена кинематика процессов, происходящих в межлопастном пространстве первого ротора роторно-вихревой мельницы. Построены схемы распределения скоростей движения среды в межлопастном пространстве и траектории движения частицы измельчаемого сырья в канале первого ротора.

Ключевые слова: движение газа, относительная скорость, межлопастное пространство, ротор, траектории, частицы.

A.A. Kostylev, T.V. Stupko

THE MOVEMENT KINEMATICS OF AIR WITH SOLID PARTICLES IN THE CHANNELS OF THE FIRST ROTOR OF THE ROTARY-VORTEX FINE GRINDING MILL

The kinematics of the processes happening in the inter-blade space of the first rotor of the rotor-vortex mill is considered in the article. The distribution schemes of the environment movement speeds in the inter-blade space and the trajectory of the particle movement of the grinded raw materials in the channel of the first rotor are constructed.

Key words: gas motion, relative speed, inter-blade space, rotor, trajectories, particles.

Введение. Процесс тонкого измельчения является весьма энергоемким, т.е. требует больших энергетических затрат и сопряжен с безвозвратной потерей металла из-за износа рабочих элементов измельчителей. Для уменьшения износа рабочих элементов РВМТП (роторов) предлагается использовать ротор для закрутки несущей среды и первоначального ускорения частиц, представляющий из себя центробежный вентилятор.

Цель исследований. Рассмотреть кинематику процессов, происходящих в межлопастном пространстве первого ротора роторно-вихревой мельницы.

Методика и результаты исследований. Проведем теоретическое исследование движения воздуха с твердыми частицами в каналах первого ротора для определения зависимостей работы роторно-вихревой мельницы тонкого помола.

Движение газа вдоль поверхностей лопатки является непрерывным, т.е. циркуляция газа отсутствует. Согласно теореме Томсона [1], для замкнутого контура (поверхности лопатки) $\frac{d\Gamma}{dt} = 0$, где Γ – циркуляция и $\Gamma = const$. В силу теоремы Стокса, такой поток газа будет потенциальным. Струи газа, движущиеся по выпуклой и вогнутой поверхностям лопатки, имеют разные относительные скорости. Разрыв скоростей движения газа на конце лопатки ($a - a$), образующей вихревые потоки разгонного типа.

Таким образом, при рассмотрении движения фракции материала при движении вместе с газом вдоль лопатки следует считать, что скорость частиц на выходе совпадает со скоростью газа.

Фактически скорости частиц и газа различны, что обусловлено лобовым сопротивлением газа движению частиц, определяемым по формуле [2]:

$$F_{nc} = k_a S \frac{|\bar{V}_r - \bar{V}_e|(\bar{V}_r - \bar{V}_e)}{2} \quad (1)$$

Уравнение для вычисления k_a при относительном движении сферических частиц получено в работе [3]. Тогда уравнение (1) принимает следующий вид:

$$F_{лс} = k_a \frac{\pi d^2}{8} \rho_c |\bar{V}_r - \bar{V}_e| (\bar{V}_r - \bar{V}_e), \quad (2)$$

где d – диаметр частиц, мм; ρ_c – плотность среды; \bar{V}_r и \bar{V}_e – скорость относительного и переменного движений соответственно.

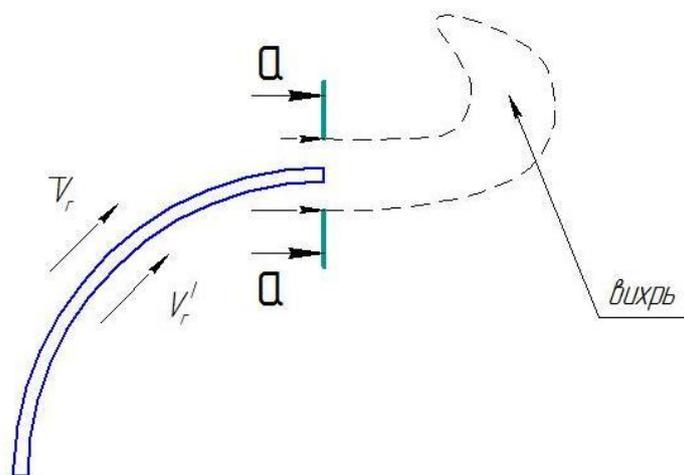


Рис. 1. Возникновение циркуляции вокруг профиля лопатки

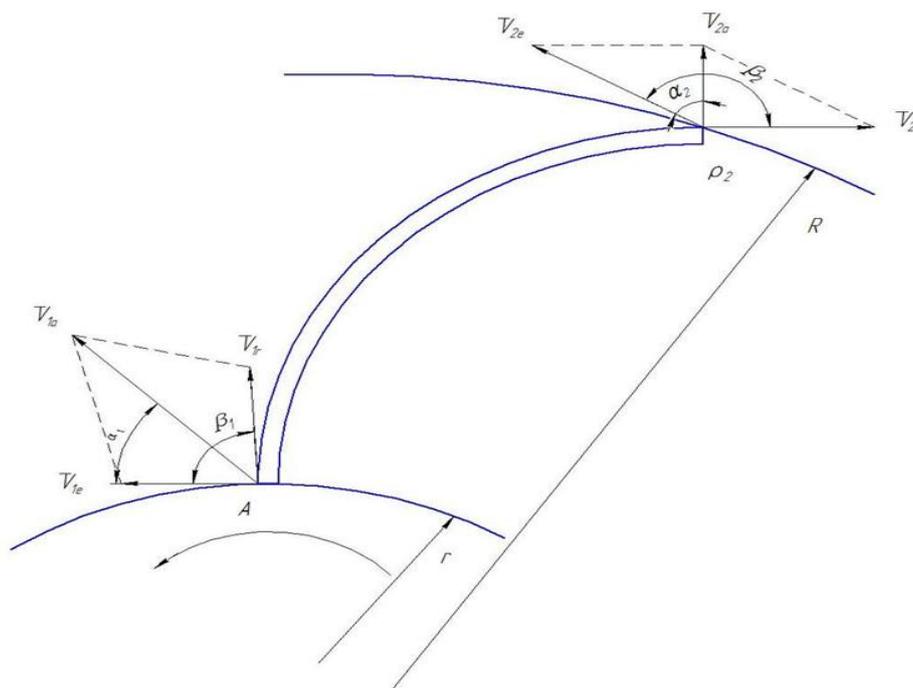


Рис. 2. Схема распределения скоростей

При вращении газ подхватывается лопаткой и движется по ней за счет центробежных сил от внутренней к наружной поверхности ротора. Частица измельчаемого материала, с газом попав на лопатку в точке А (рис. 2), совершает сложное движение, состоящее из относительного движе-

ния частиц вдоль поверхности лопатки со скоростью V_{1r} и переносного вращательного движения со скоростью V_{1e} . Абсолютное движение со скоростью V_{1a} определяется как

$$\bar{V}_a = \bar{V}_e + \bar{V}_r. \quad (3)$$

Направление относительной скорости V_{1r} не зависит от режима работы ротора, а определяется скоростью и направлением струи газа, тогда абсолютная скорость частицы геометрически равна

$$\bar{V}_{1a} = \bar{V}_{1e} + \bar{V}_{1r}. \quad (4)$$

Модуль V_{1a} определяется по известной формуле теоретической механики:

$$V_{1a} = \sqrt{V_{1e}^2 + V_{1r}^2 + 2V_{1e} \times V_{1r} \times \cos\beta_1}. \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что чем больше угол β_1 , тем условие входа газа в канал между лопатками лучше. На выходе из канала угол β_2 наименьший и абсолютная скорость V_{2a} будет наибольшей.

Переносная скорость \bar{V}_{ei} зависит от расстояния до оси вращения ротора R_i и определяется по формуле:

$$V_{e \max} = \omega_e R = \frac{\pi D_2 n}{60}, \quad (6)$$

где ω_e переносная угловая скорость, c^{-1} .

Относительная скорость \bar{V}_r зависит от скорости движения газа. При движении сферической частицы коэффициент сопротивления воздуха k_c функция скорости. Кроме того, на частицы действует сила трения, определяемая в первом приближении по закону Кулона. Для расчета скорости частиц используем дифференциальное уравнение вида:

$$\begin{aligned} m \frac{dV_x}{dt} &= -(\alpha V_x + F_{mp}), \\ \frac{dV_x}{dt} &= -\frac{\alpha}{m} \left(V_x + \frac{Pf}{\alpha} \right). \end{aligned}$$

Интегрируя данные уравнения, получаем:

$$V_x = \frac{Pf}{\alpha} \left(e^{-\frac{\alpha}{m}t} - 1 \right). \quad (7)$$

Время движения частицы (t) определяется из выражения:

$$dt = \frac{dx}{V_{rc}}. \quad (8)$$

Значение x_i изменяется от 0 до e . Таким образом, уравнение (8) примет вид:

$$dt = \frac{de}{V_r}. \quad (9)$$

Интегрируя уравнение (9), получим t_{max} , т.е.

$$t_{max} = \frac{e}{V_{rmax}}, \quad (10)$$

где V_{rmax} – максимальная скорость на конце лопатки.

При нарастании относительной скорости V_{ri} с учетом сил трения движение частицы из поступательного переходит в плоское. Двигаясь поступательно частица совершает вращательное движение. В связи с этим между частицей и поверхностью лопатки возникает тонкая прослойка газа и трение скольжения переходит в граничное трение. Сила трения в формуле (7) резко снижается и относительная скорость частиц возрастает.

Распределение скоростей по каналу рабочего колеса можно выразить через градиент давления в канале $\frac{dP}{dx}$.

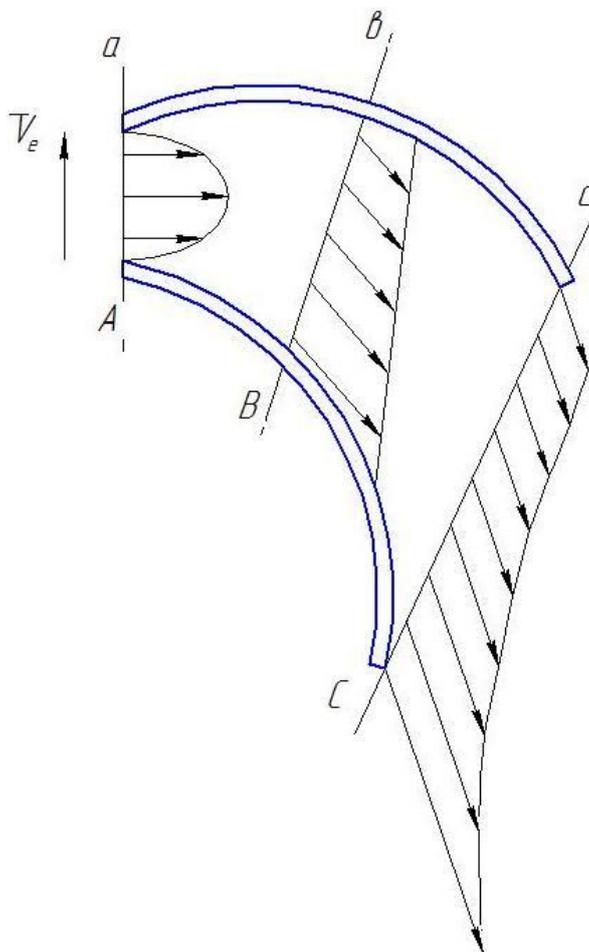


Рис. 3. Распределение скоростей по каналу как функция барометрического давления

В сечении А – а градиент давления $\frac{dP}{dx} > 0$, т.е. происходит увеличение скорости газа. Для сечения В – в $\frac{dP}{dx} = 0$ скорость движения газа постоянная. В сечении С – с градиент давления $\frac{dP}{dx} < 0$. При этом рост скорости газа замедляется. Это приводит к разряжению плотности газа. Так как скорость частиц газа на выпуклой поверхности больше, чем на вогнутой, то в сечении С – с образуется вихрь, закручивающий газ против часовой стрелки. Этому способствует переносная скорость ротора.

Если частица входит в канал в районе точки «а» (рис. 3), то сила трения практически отсутствует и в формуле (7) её можно исключить. Следует также учесть, что под действием тангенциальной силы инерции частица приближается к выпуклой части лопатки. Контакт частицы с выпуклой поверхностью лопатки происходит в виде касательного удара в районе участка канала $B - C$ (рис. 3). Угол γ направления удара является острым и зависит от точки A касания частицы.

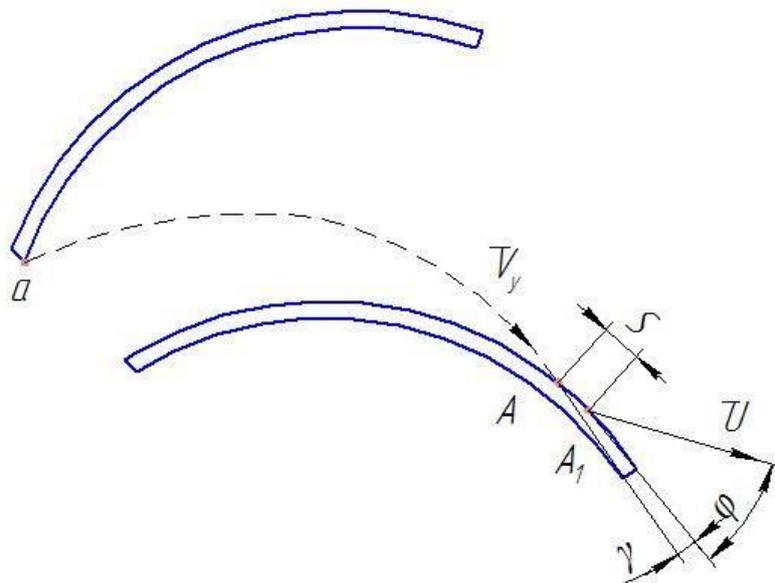


Рис. 4. Направление удара частицы и точка касания

После входа в контакт частица некоторое время скользит по рабочей поверхности лопатки. Расстояние S , пройденное частицей за время удара t_y , оказывается в точке A_1 . В результате упругого взаимодействия частица отскакивает со скоростью \bar{U} под углом φ к касательной в точке A_1 :

$$U = \sqrt{(V_y \sin \gamma)^2 + (k \cdot V_y \cos \gamma)^2}, \text{ где } k = \frac{U \cos \varphi}{V_y \cos \gamma};$$

V_y – скорость удара частицы, м/с.

При малом времени удара перемещение S соответствует предварительному смещению. Высокие контактные напряжения σ_k и тангенциальное смещение приводят к отделению микрочастиц с поверхности твердой частицы. Следует отметить, что чем больше угол падения γ , тем меньше износ сферической частицы. Следовательно, для наибольшего разрушения частиц кривизна лопатки выбрана таким образом, чтобы угол удара частицы на первом роторе был в пределах $\gamma = (5 \div 10^\circ)$ [4]. Кроме того, ротор 1 является разгонным и соответственно потери скорости частиц от ударов должны быть наименьшими [5].

Скорость отскока частицы U суммируется с абсолютной скоростью газа, в этом случае сферическая частица движется по криволинейной траектории в сторону выхода газа из межлопастного пространства.

Заключение. В процессе исследований установлен характер движения газа вдоль поверхностей лопатки первого ротора. Представлена формула для определения разности скоростей газа и частиц в его каналах, построена схема распределения скоростей на рабочих поверхностях ротора, определены точка входа частицы в межлопастное пространство и точка касания частицы поверхности лопатки (на выходе). Установлены критерии выбора кривизны лопатки.

Литература

1. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике: учеб. пособие. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – С. 213–217.
2. Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. – М.: Химия 1974. – 688 с.
3. Вахрушев И.А. Общее уравнение для коэффициента лобового сопротивления частиц различной изометрической формы при относительном движении в безграничной среде// Химическая пром-сть. – 1965. – № 8. – С. 614–617.
4. Иванова Г.И. Получение порошков из растительного сырья в вихревой сушилке-мельнице: дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2006.
5. Заявка 2014126032 Российская Федерация. Роторно-вихревая мельница тонкого помола 2 / А.А. Костылев; заявитель ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2014126032; заявл. 26.06.2014.



УДК 629.463

С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ОТ МАССЫ ПЕРЕВОЗИМОГО ГРУЗА

В статье приведены результаты исследований по изучению зависимости энергетических затрат транспортных средств от массы перевозимого груза. Представленная методика позволяет дифференцированно корректировать нормы расхода топлива при эксплуатации грузовых автомобилей, а также повысить эффективность использования автомобильного транспорта.

Ключевые слова: транспорт, энергетические затраты, расход топлива, масса груза, коэффициент возрастания, математическая модель.

S.V. Shchitov, Z.F. Krivutsa

THE RESEARCH OF THE VEHICLEPOWER EXPENSE DEPENDENCE ON THE MASS OF THE TRANSPORTED FREIGHT

The research results on studying of the vehiclepower expense dependence on the mass of the transported freight are given in the article. The presented technique allows to correct differentially the fuel consumption rates in the operation of trucks, and also to increase the efficiency of the motor transportuse.

Key words: transport, power expenses, fuel consumption, freight mass, increase coefficient, mathematical model.

Введение. Эффективность автомобильного транспорта зависит от условий эксплуатации, которые меняются по сезонам года. Особенно это характерно для автомобильного транспорта, который обслуживает предприятия АПК. При значительной сезонной вариации условий эксплуатации существующие методы планирования и организации технологического процесса перевозок грузов не позволяют полностью реализовать потенциальное качество автомобилей, заложенное при проектировании и производстве [1, 2, 3, 4, 5]. Поэтому для решения задачи повышения эффективности работы автомобильного транспорта в различных переменных условиях эксплуатации необходимо учитывать приспособленность транспорта к этим условиям. Для автомобильного транспорта характерно исключительное многообразие условий эксплуатации, широкий диапазон значений многих