

$$t_{cp} = 22,3 + 23/2 = 22,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При такій температурі коефіцієнт кінематичної в'язкості дорівнює $15,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, значення дифузного критерію Прандтля $Pr' = 0,704$

Абсолютне значення середньої температури

$$T_{cp} = 273,16 + 22,65 = 295,8 \text{ } ^\circ\text{K}$$

По відомій формулі знаходимо коефіцієнт дифузії [5], $\text{м}^2/\text{год}$

$$D = 0,0754 \left(\frac{T_c}{273} \right)^{1,89} \frac{760}{Pr'} = 0,0754 \left(\frac{295,8}{273,16} \right)^{1,89} \frac{760}{770} = 0,086$$

Підставивши отримані значення в рівняння (8) отримаємо, $\text{м}/\text{год}$

$$\beta = 0,66 \cdot \frac{0,086}{16} \left(\frac{9,8 \cdot 16^5}{15,32 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{1,15 - 1,2}{1,15} \cdot 0,704 \right)^{0,26} = 4,03$$

Кількість вологи, яка конденсується, визначається із залежності, $\text{г}/\text{год}$

$$G = \beta(C_1 - C_2) \cdot \frac{760}{Pr'} = 4,03(17,3 - 16,8) \frac{760}{770} = 1,99, \quad (9)$$

де C_1 - концентрація водяної пари на поверхні рідини при $22,3^\circ\text{C}$ [5], відповідно $C_1 = 17,3$ і $C_2 = 16,8$.

Отже, при умовах задачі масообмін практично не відбувається і теплообмін за рахунок теплообміну теж. Для визначення коефіцієнту конвективного теплообміну скористуємося відомим виразом [5], $\text{кДж}/\text{м}$

$$\alpha_k = 5 \frac{\lambda}{L} \left(\frac{g \cdot L^3}{\lambda^2} \cdot \frac{\beta \cdot \rho \cdot \rho_s \cdot \rho_c}{\rho_n} \right)^{0,104}, \quad (10)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності повітря $\lambda = 0,022$.

Підставивши в рівняння (10) відомі значення, отримаємо, $\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$

$$\alpha_k = 5 \cdot \frac{0,22}{16} \left(\frac{9,8 \cdot 16^5}{0,22^2} \cdot \frac{1,15 - 1,2}{1,15} \cdot 0,704 \right)^{0,104} = 1,86 \cdot 10^{-4}$$

Кількість переданого явного тепла визначається з формули Ньютона, $\text{кВт}/\text{м}^2$

$$q = \alpha_k \cdot (t_c - t_n) = 1,86 \cdot 10^{-4} (30 - 22,3) = 0,0014$$

Повна кількість явного тепла буде дорівнювати, кВт

$$Q = q \cdot F = 0,0014 \cdot 600 = 0,85$$

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено що кількість явного тепла, яка передається від повітря до води несуттєва і практично не впливає на тепловий баланс шахти, так як температура води дуже близька до температури шахтного повітря. Отже, параметри повітря в насосній визначаються лише роботою потужних насосів. При цьому коефіцієнт корисної дії електродвигунів достатньо високий і складає 0,97-0,98, тоді як ККД насосів низький і дорівнює 0,82-0,85, тобто, безпосередні втрати енергії в двигуні і насосі складають до 20% від потужності двигуна. При потужності двигунів насосів, наприклад, 800 кВт (ш. Родіна) теплова потужність буде дорівнювати 160 кВт.

Список літератури

1. А.В. Нестеренко Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. Изд. В.Ш., М., 1965. 395 с.
 2. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. М.: В.Ш., 1965
 3. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Т.1, Киев. Изд. АНУССР, 1958
- Рукопис подано до редакції 15.03.12

УДК 669: 621.926.2

А.Д. УЧИТЕЛЬ, д-р техн. наук, проф., Ю.А. МАЛИНОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц., А.Ю. МАЛИНОВСКАЯ, ст. преподаватель, ГБУЗ «Криворожский национальный университет»

ОСОБЕННОСТИ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕГАБАРИТНЫХ КУСКОВ ТРАНСПОРТИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА В РОТОРНОМ АГРЕГАТЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

В работе описана роторная машина для транспортирования, охлаждения, просеивания и, в некоторых случаях, дробления крупных кусков неоднородного металлургического сырья. Теоретически получены зависимости для рас-

чета параметров машины, при которых будет происходить разрушение требуемого класса перемещаемого материала.
Ключевые слова: ротор, агломерат, дробление, камера дробления, энергия разрушения.

Для транспортировки и охлаждения горячих сырьевых материалов перспективным является применение так называемых роторных транспортировщиков-охладителей [1]. Схематично транспортирующая система показана на рис. 1.

Конструктивно транспортирующая система состоит из нечетного числа вращающихся дуговых роторов, причем каждый последующий ротор повернут относительно предыдущего на угол 90° . Нечетное количество роторов обусловлено тем, что первый ротор, расположенный в начале участка транспортирования предназначен для предотвращения попадания крупных кусков сырьевого материала на конвейер просыпи, а количество роторов, необходимое для осуществления процесса транспортирования всегда кратно четырем, так как процесс перемещения материала состоит из четырех этапов.

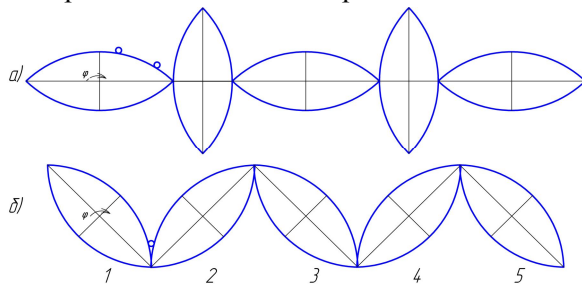


Рис. 1. Принципиальная схема транспортирующей машины: a - положение роторов машины при угле поворота ведущего звена $\varphi=0^\circ$; b - положение роторов машины при угле поворота ведущего звена $\varphi=45^\circ$

При рассмотрении рабочего процесса в машине будем исходить из того, что каждый ротор представляет собой два сложенных по хордам круговых сегмента, которые получены одним и тем же радиусом и опираются на угол

90° . Обратимся к двум сопряженным роторам, повернутым один относительно другого на угол 90° , оси вращения которых располагаются на горизонтальной прямой на расстоянии $(a+b)$. Указанные роторы при синхронном и синфазном вращении в идеале должны обеспечивать непрерывный контакт сопрягаемых поверхностей. При использовании машины в качестве транспортировщика-охладителя зазор между сопрягаемыми поверхностями должен отсутствовать. Если машина ещё выполняет функцию грохота, то зазор между сопрягаемыми поверхностями роторов должен быть все время постоянным и равным δ , в этом случае межцентровое расстояние для двух смежных роторов составляет $(a+b+\delta)$. Отдельно отметим, что смежные роторы собраны так, что в любом положении угол между большими осями роторов будет равен 90° .

Условие беззазорной работы смежных роторов рассматриваемого конструктивного решения роторов можно показать исходя из следующих геометрических построений (рис. 2).

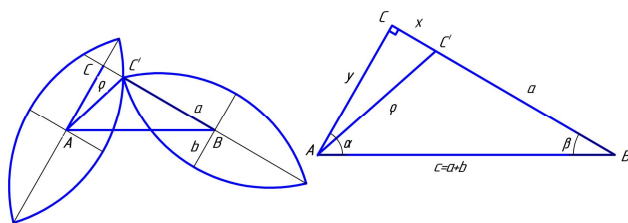


Рис. 2. К обоснованию беззазорной работы двух смежных роторов, центры вращения которых расположены на расстоянии $AB=a+b$; $AC'=\rho$ - радиус-вектор точки непрерывного контакта двух роторов; $CB=a$ - длина большой полуоси ротора; b - длина малой полуоси ротора; α - угол поворота ведущего ротора; $\angle C=90^\circ$ - угол между большими полуосями смежных роторов

Кроме функций транспортирования, охлаждения и просеивания перемещаемого материала, в некоторых режимах эксплуатации возможно еще и независимое дробление крупных кусков материала, при этом геометрические и кинематические параметры машины должны удовлетворять некоторым условиям, которые будут получены ниже.

В случае транспортирования материала различной крупности (например, агломерат), в результате сегрегации крупного материала в нижней части рабочей камеры (рис. 3) с высокой степенью вероятности может произойти захват и удар ротором по «условно» неподвижному куску транспортируемого материала. Отметим, что передача энергии на материал происходит «свободным» ударом, когда кусок не опирается на рабочие части машины, при этом усилие удара уравнивается силами инерции самого куска.

Наибольшая кинетическая энергия, которая затрачивается ротором при его соударении с наибольшим куском перемещаемого материала, достигается после сползания такого куска по боковой поверхности первого ротора в положение, при котором большая ось первого ротора вертикальна, а второго ротора - горизонтальна, тогда вторым ротором при его взаимодействии с куском материала достигается наибольший ударный импульс.

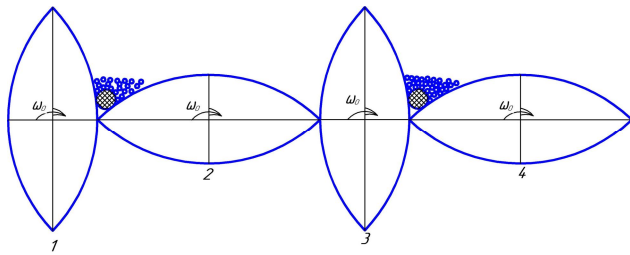


Рис. 3. К ударному взаимодействию ротора с «негабаритным» куском транспортируемого материала

Другими словами, «попутное» измельчение перемещаемого материала достигается при взаимодействии наиболее крупных кусков материала со вторым ротором рабочей камеры, находящемся в горизонтальном положении (в этом случае для наиболее крупных кусков материала развивается наибольший маховой момент и произойдет эффективный захват куска материала). Если крупный кусок, в силу своего положения в

рабочей камере, не будет раздроблен, то этот процесс может быть осуществлен в последующих рабочих камерах, образованных другими роторами машины.

Рассмотрим энергетические соотношения при взаимодействии ротора с куском перемещаемого материала

$$T_0 = T_1 + T_2, \tag{1}$$

где T_0 - кинетическая энергия вращающегося ротора до его соударения с куском материала

$$T_0 = I\omega_0^2 / 2,$$

где I - момент инерции ротора; ω_0 - угловая скорость ротора до удара; T_1 - кинетическая энергия ротора после удара

$$T_1 = I\omega_1^2 / 2,$$

где ω_1 - угловая скорость ротора после удара (величина изначально неизвестная); T_2 - кинетическая энергия, затрачиваемая на соударение ротора с куском материала и передаваемая материалу

$$T_2 = MV_1^2 / 2,$$

где M - масса куска; V_1 - скорость, сообщаемая ротором куску материала после удара ($V_1 = \omega_1 a$); a - длина большой полуоси ротора.

Подставляя значения T_0, T_1, T_2 в (1), получим

$$I\omega_0^2 = I\omega_1^2 + Ma^2\omega_1^2. \tag{2}$$

Выразим ω_1 из (2), получим

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{I / (I + Ma^2)} = \omega_0 \sqrt{1 / (1 + (Ma^2 / I))}. \tag{3}$$

Тогда приращение кинетической энергии, затрачиваемое на соударение, равно

$$\begin{aligned} \Delta T = T_2 = T_0 - T_1 &= \frac{I\omega_0^2}{2} - \frac{I\omega_1^2}{2} = \frac{I}{2}(\omega_0^2 - \omega_1^2) = \frac{I}{2} \left[\omega_0^2 - \omega_0^2 \left(\frac{I}{I + Ma^2} \right) \right] = \\ &= \frac{I}{2} \omega_0^2 \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{Ma^2}{I}} \right) = T_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{Ma^2}{I}} \right). \end{aligned} \tag{4}$$

При этом уменьшение угловой скорости после соударения ротора с куском материала составит

$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega_1 = \omega_0 - \omega_0 \sqrt{1 / (1 + (Ma^2 / I))} = \omega_0 \left(1 - \sqrt{1 / (1 + (Ma^2 / I))} \right). \tag{5}$$

Время, в течение которого ротор должен увеличить угловую скорость от ω_1 до ω_0

$$t = \pi / \omega_0. \tag{6}$$

равно времени, которое затрачивает ротор для его поворота на угол π . Для обеспечения последующего удара ротора по куску (крупному) перемещаемого материала, ротор должен увеличить свою угловую скорость от значения ω_1 до номинального значения ω_0 , иначе

$$\omega_0 = \omega_1 + \varepsilon t, \tag{7}$$

где ε - угловое ускорение ротора; t - время разгона ротора от скорости ω_1 до скорости ω_0 ($t = \pi / \omega_0$).

Перепишем (7) с учетом (3) и, учитывая значение времени разгона ротора (6), будем иметь

$$\omega_0 = \omega_0 \sqrt{\frac{1}{1 + (Ma^2 / I)}} + \varepsilon t, \tag{8}$$

тогда

$$\varepsilon = \frac{\omega_o}{t} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + (Ma^2 / I)}} \right), \quad (9)$$

и, окончательно, получим

$$\varepsilon = \frac{\omega_o}{\pi / \omega_o} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + (Ma^2 / I)}} \right) = \frac{\omega_o^2}{\pi} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + (Ma^2 / I)}} \right). \quad (10)$$

Применяемый в приводе машины двигатель должен обеспечить ускорение ε при разгоне ротора, которое определяется по формуле (10).

Значение массы ускоряемого куска должно приниматься усредненным для определенных разгонных характеристик двигателя, при этом значение момента инерции ротора должно приниматься приведенным к условному ротору

$$I_{\text{пр}} = I(n/2), \quad (11)$$

где n - число роторов в машине (число четное, без учета первого направляющего ротора).

Значение массы ударяемого куска принимаем среднестатистическим и приведенным к условному ротору

$$M_{\text{пр}} = M(n/2) \quad (12)$$

Если по условиям эксплуатации транспортирующей системы необходимо додображивание крупных кусков, или требуется исключить дробление, то этот вопрос рассмотрим из следующих соображений. Для разрушения куска материала необходимо, чтобы приращение кинетической энергии при соударении ротора с куском транспортируемого материала, было больше или равно работе сил упругого разрушения [2]

$$\Delta T = T_2 \geq A. \quad (13)$$

Если условие (13) не выполняется, то разрушение материала не произойдет. Поэтому геометрические и кинематические параметры работы машины выбираются так, чтобы обеспечить требуемые по технологии характеристики обрабатываемого материала.

Условия разрушения некоторых классов транспортируемого материала (13) можно представить в виде

$$\frac{I\omega_o^2}{\pi} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + (Ma^2 / I)}} \right) \geq \frac{\sigma_b^2 M}{2E}, \quad (14)$$

где σ_b - предел прочности на сжатие транспортируемого материала (в куске); γ - плотность материала; E - модуль упругости материала.

В приведенном выражении (14) величины σ_b, M, γ, E характеризуют физико-механические свойства транспортируемого материала, то есть являются заданными величинами, а величины I, ω_o, a характеризуют размеры, форму и угловую скорость вращения роторов, которые можно изменить для получения требуемых условий транспортирования материала (с учетом или без учета додображивания некоторых классов материала).

Вывод. Получены условия, исходя из которых, можно рассчитать геометрические и кинематические параметры машины, обеспечивающие эффективное дробление требуемого класса транспортируемого материала. Использование этих зависимостей, в случае необходимости, также позволит исключить разрушение транспортируемого материала.

Список литературы

1. Роторно-пластический аппарат для подготовки металлургической шихты / В.И. Большаков, А.Д. Учитель, Г.Л. Зайцев, С.В. Швед, В.Г. Григорьева. Металлургическая и горнорудная промышленность. -2001, №6. - С. 84-88.
2. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / В.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек. - М. Машиностроение, 1990. - 320 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.03.12