

УДК 621.926.3

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ
ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВАЛКА ВИБРОВАЛКОВОГО
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Сиваченко Л.А.¹, Сотник Л.Л.², Русан С.И.²

- 1. Учреждение образования «Белорусско-Российский университет», г. Могилев*
- 2. Учреждение образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи*

Предложена новая конструкция вибровалкового измельчителя для переработки материалов. Описаны ее основные конструктивные элементы. Выполнен кинематический анализ работы вала эксцентриквого вала. Описано уравновешивание движения точки вала.

Ключевые слова: вибрационные машины, вибровалковый измельчитель, эксцентриквый вал, эксцентриситет, уравнения движения.

KINEMATIC ANALYSIS OF SUPPLEMENTARY SHAFT OF
VIBROROLL GRINDER

Sivachenko L.A.¹, Sotnik L.L.², Rusan S.I.²

- 1 Educational institution "Belarussian-Russian University", Mogilev*
- 2 Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi*

A modern design of vibroroll grinder for processing materials is offered. Its basic structural elements are described. Kinematic analysis of work of a roll of supplementary shaft is made. Equilibration of the movement of a point of a roll is described.

Keywords: vibration machine, vibroroll grinder, supplementary shaft, eccentricity, equations of motion.

В современном производстве большое внимание уделяется увеличению производительности и снижению энергозатрат оборудования. В связи с этим возникает вопрос о совершенствовании и модернизации промышленного оборудования, большая часть которого на перерабатывающих предприятиях морально устарела.

Способы измельчения материалов разнообразны, однако основными из них являются механические, такие как раздавливание, удар и истирание [1, 2].

Одним из подходов к решению проблемы является переход

простого процесса измельчения в более сложный механизм управляемого изменения свойств перерабатываемой среды [3]. Это ведет к созданию измельчителей повышенной интенсивности рабочего процесса: вибрационных, планетарных, струйных, электромагнитных и ряда других.

Поиск теоретически и экспериментально обоснованных рациональных параметров, определяющих эффективный режим работы вибровалкового измельчителя, является актуальной научно-технической задачей, решение которой имеет большое практическое значение.

Схема одной из новых конструкций вибровалкового измельчителя представлена в разрезе на рисунке 1.

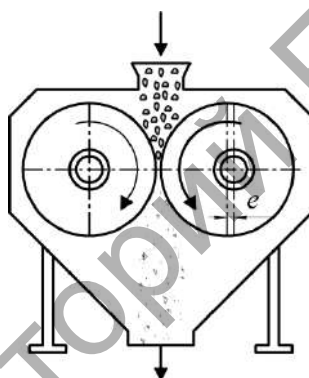


Рисунок 1 — Схема вибровалкового измельчителя.

Основными его звеньями являются два цилиндрических вала, приводимые в движение отдельными электродвигателями. Левый из них совершает абсолютное вращательное движение, правый — составное [4].

Динамическое воздействие на измельчаемую среду в зоне разрушения зависит от кинематических характеристик движения валков. Исследуем движение правого вала. Его пространственная схема показана на рисунке 2.

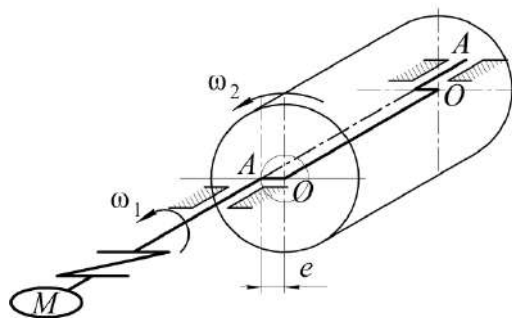


Рисунок 2 — Схема правого валка.

Моделировать соединение валка с осью AA ротора электродвигателя M можно посредством коленчатого вала. Функцию кривошипа выполняет цилиндрический эксцентрик, жестко соединенный с осью AA . Его собственная ось симметрии OO сдвинута относительно оси ротора AA на расстояние e , называемое эксцентриситетом. Поскольку сечение валка, нормальное к оси Az , не изменяются вдоль этой оси, то пространственный объект будем описывать одним его сечением. Такое сечение валка и эксцентрика показано на рисунке 3.

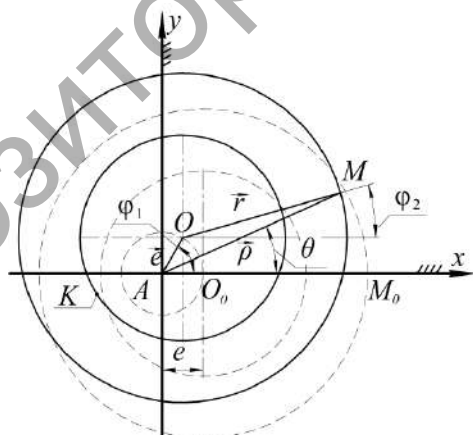


Рисунок 3 — Схема сечения эксцентрикового валка.

Контактирование валка и эксцентрика осуществляется через подшипники K , которые рассматриваются как внутренняя связь в системе. Внешней связью служат подшипники A , установленные на

раме (корпусе) измельчителя. Значит механическая система вал-эксцентрик-валок имеет две степени свободы. Для определения ее положения в абсолютной системе координат необходимо задавать две обобщенные координаты. Положение оси вала с эксцентриком будем определять углом φ_1 , а вала относительно оси OO — φ_2 . Описанная механическая система теоретически допускает три варианта движения:

1) круговое поступательное ($\varphi_2=0$) движение, определяемое вращением эксцентрика;

2) составное поступательно-вращательное, при котором $\varphi_2 \neq 0$;

3) вращательное движение вокруг оси AA $\varphi_2 = \varphi_1$.

Рассмотрим эти варианты более подробно.

Валок совершает круговое поступательное движение. При этом все прямые, параллельные оси OO , в том числе и образующие цилиндрической поверхности вала, совершают такие же движения, как и его ось O . А в нормальных сечениях вала (рисунок 3) все точки описывают окружности радиуса e (как и точка O) и движутся по своим траекториям со скоростью $v_M = \omega_1 e$ (м/с) и ускорениями $a_M = \omega_1^2 e$ (м/с²). Векторы скоростей \vec{v}_M направлены по касательным к окружностям, а ускорений \vec{a}_M — по нормальям к ним в сторону центров.

Введем систему осей координат с началом в неподвижной точке A .

Тогда уравнения окружностей записываются в виде (рисунок 4):

$$x_M = x_C + e \cos \varphi_1, \quad y_M = y_C + e \sin \varphi_1 \quad (1)$$

где x_C, y_C — координаты центров окружностей.

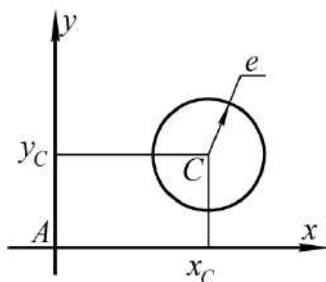


Рисунок 4 — Анализ движения.

Валок совершает сложное движение, при котором эксцентрик

вращается с угловой скоростью ω_1 , а валок с относительной скоростью ω_2 вокруг оси симметрии OO эксцентрика. Правый валок приводится во вращательное движение посредством сил сцепления, возникающих в зоне контакта с измельчаемыми фракциями. Эти силы, как известно, зависят от таких нестабильных факторов как нормальное давление в зоне контакта и коэффициент трения скольжения. Поэтому величина ω_2 устанавливается приближенно из опытов.

Найдем уравнения движения точки M , которая в исходном положении (рисунок 3) обозначена буквой M_0 .

В произвольный момент времени ее радиус-вектор равен $\vec{\rho} = \vec{e} + \vec{r}$. Проецируя $\vec{\rho}$ на оси координат, находим: $x_M = \rho \cos \theta$, $y_M = \rho \sin \theta$ или:

$$x_M = e \cos \varphi_1 + r \cos \varphi_2, \quad y_M = e \sin \varphi_1 + r \sin \varphi_2 \quad (2)$$

где $\varphi_1 = \omega_1 t$, $\varphi_2 = \omega_2 t$.

Для определения скоростей произвольной точки M валка будем рассматривать его составное движение как плоскопараллельное. В качестве полюса примем точку O (рисунок 5).

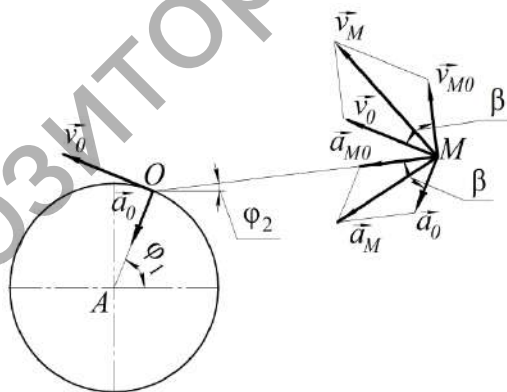


Рисунок 5 — Определение скоростей и ускорений точки M .

Тогда $\vec{v}_M = \vec{v}_O + \vec{v}_{MO}$, где $\vec{v}_O = \vec{v}_1$ — скорость полюса O ; $\vec{v}_{MO} = \vec{v}_2$ — скорость точки M относительно O . Геометрическое суммирование векторов \vec{v}_1 и \vec{v}_2 показано на рисунке 5.

По теореме косинусов находим:

$$v_M = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \beta} . \quad (3)$$

Аналогично, определяем ускорение a_M , зная, что $\vec{a}_M = \vec{a}_O + \vec{a}_{MO}$, $\vec{a}_O = \vec{a}_1$, $\vec{a}_{MO} = \vec{a}_2$:

$$a_M = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \beta} . \quad (4)$$

где нормальные ускорения a_1 и a_2 определяются по формулам:

$$a_1 = \omega_1^2 e \text{ (м/с}^2\text{)}, \quad a_2 = \omega_2^2 r \text{ (м/с}^2\text{)};$$

угол $\beta = \varphi_1 - \varphi_2$.

Валок совершает вращательное движение вокруг оси AA . Такое движение могло бы иметь место при заклинивании подшипников между валком и эксцентриком, что на практике исключено. Рассматривать такой вариант не будем.

Уточним формулу обобщенной координаты φ_2 . Предполагалось, что $\varphi_2 = \omega_2 t$, $\omega_2 = const$. Также отмечалось, что вращение правого вала вызывается силой сцепления измельчаемых фракций с его поверхностью, которая зависит от давления на валок и свойств его поверхности. Логично предположить, что это давление не постоянно, а изменяется по гармоническому закону, определяемому вращением эксцентрика с частотой $\frac{n_1}{60}$ Гц. Тогда относительную угловую скорость вала можно определить по формуле:

$$\omega_2(t) = \omega_2^{cp} - \omega_{2a} \cos\left(\frac{\pi n_1}{30} t\right) \quad (5)$$

где $\omega_2^{cp} = const$ — средняя угловая скорость вала; ω_{2a} — амплитуда изменяемой составляющей угловой скорости $\omega_2(t)$ (рисунок 6). Значения величин ω_2^{cp} и ω_{2a} определяются из опытов.

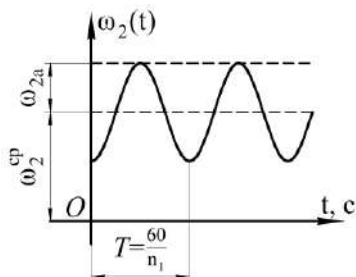


Рисунок 6 — Закон изменения угловой скорости вала.

Находим обобщенную координату. Так как $\omega_2(t) = \frac{d\varphi_2}{dt}$, то $d\varphi_2 = \omega_2(t)dt$, откуда $\varphi_2 = \int \omega_2(t)dt$ или

$$\varphi_2 = \omega_2^{cp} t + \frac{\pi n_1}{30} \omega_{2a} \sin\left(\frac{\pi n_1}{30} t\right) \quad (6)$$

При выводе формулы (6) предполагаем, что при t_0 $\varphi_2 = 0$.

Проведённый теоретический анализ движения вала установленного на эксцентриковом валу, описывает кинематические параметры рабочего процесса, позволяет установить закономерности функционирования вибровалкового измельчителя, как сложной технической системы.

Выполненные теоретические расчеты положены в основу создания экспериментального исследовательского оборудования.

Список литературы

1. *Ревнивцев, В.И.* Селективное разрушение минералов / В.И. Ревнивцев [и др.]; под ред. В.И. Ревнивцева. – М.: Недра, 1988. – 287 с.
2. *Богданов, В.С.* Современные измельчители: характеристика и оценка для процесса помола клинкера / В.С. Богданов, В.З. Пироцкий // Цемент и его применение. – 2003. – № 4. – С. 10–15.
3. *Хайнике Г.* Трибохимия / Г. Хайнике – М.: Мир, 1987. – 584 с.
4. *Сиваченко, Л.А.* Вибровалковый измельчитель и основы его проектирования / Л.А. Сиваченко, И.А. Богданович, Л.Л. Сотник. Сб. науч. тр. Современные технологии и методы расчетов в строительстве — Луцк: Изд-во Вежа-Друк, 2016. Вып. 5. — С. 32—39.