

При скорости движения 2 м/с (7,2 км/ч) УТШ преодолевает подъем крутизной до 15°. При скорости 0,5 м/с (1,8 км/ч) робот преодолевает подъем до 30°. Наибольший преодолеваемый крен составил 33°, который УТШ в режиме дистанционного управления преодолел на скорости 0,7 м/с (2,5 км/ч). На скорости 2 м/с (7,2 км/ч) УТШ уверенно двигалось по уклону 20° в поперечном направлении.

Универсальное транспортное шасси успешно выдержало испытания, при прохождении машиной контрольного участка не было зафиксировано ни одного случая нарушения установленных границ. Шасси обеспечило преодоление следующих видов препятствий:

- порогов высотой до 200 мм;
- косогоров по курсу с углом наклона до 30°;
- склонов в поперечном направлении с углом наклона до 30°.

Список литературы

1. Данилов Р.Г., Добров А.А. Определение расхода топлива при работе специального оборудования транспортно-технологических машин // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы, как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.): сб. науч. тр.: в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. В.В. Минина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – 710 с. – С. 78–84.
2. Данилов Р.Г., Добров А.А. Особенности привода специального оборудования технологических машин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование // Сб. науч. тр. № 88. Ответственный редактор д-р техн. наук, проф. Л.А. Хмара. – Днепропетровск: ПГАСА, 2016. – 216 с. – С. 154–158.
3. Дьяков А.С., Котиев Г.О. Основы метода проектирования ходовых систем безэкипажных наземных транспортных средств // Труды НАМИ. – 2016. – № 4 (267). – С. 45-53.
4. Котиев Г.О., Дьяков А.С. Метод разработки ходовых систем высокоподвижных безэкипажных наземных транспортных средств // Известия ЮФУ. Технические Науки. – 2016. – № 1 (174). – С. 186-197.
5. ГОСТ 23734–98. Тракторы промышленные. Методы испытания. – Минск: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 16 с.

УДК 621.926

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ БАЛАНСИРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ДОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЦЕМЕНТА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дударев В.А.¹, Михальков А.Д.², Михальков В.С.², Михальков Д.В.²

1. ООО «СтройГрадАльянс». г. Могилев, РБ

2. МОУ ВО Белорусско-Российский университет, г. Могилев, РБ

В данной работе рассматривается первый этап построения математической модели работы вертикальной балансирующей вибрационной шаровой мельницы по обеспечению доизмельчения цемента, а именно, постановка задачи, введение исходных параметров и определение граничных условий.

Ключевые слова: шаровая мельница, шары для измельчения, материал для измельчения.

MATHEMATICAL MODEL OF OPERATION OF A VERTICAL BALANCING VIBRATION MILL FOR CEMENT RE-GRINDING. PROBLEM STATEMENT

Dudarev V. A.¹, Mikhalkov A.D.², Mikhalkov V. S.², Mikhalkov D. V.²

1. Stroygradalyans LLC. Mogilev, RB

2. MOE VO Belarusian-Russian University, Mogilev, RB

In this paper, we consider the first stage of constructing a mathematical model for the operation of a vertical balancing vibrating ball mill to ensure the re-grinding of cement, namely, setting the problem, introducing the initial parameters and determining the boundary conditions.

Keywords: ball mill, balls for grinding, material for grinding.

Еще с 30-х годов прошлого века увеличение прочности бетона достигалось повышением активности цемента, за счёт повышения тонкости помола в процессе изготовления цемента или последующего доизмельчения и другими методами. Увеличение активности цемента достигается в результате измельчения, диспергации (помола) в специальных агрегатах измельчения, например, мельницах. Эффект механоактивации цемента совместно с песком, основных и важнейших компонентов бетонной смеси, заключается в переходе пассивной (неактивной) поверхности вяжущего к химически активному состоянию, которое выражается в повышенной способности к реакциям в ходе последующих технологических операций.

Увеличение удельной поверхности цемента, его реакционной способности (активности) оказывает значительное влияние на формирование структуры бетона, скорости твердения и его прочностные характеристики. Использование доизмельченного активированного цемента позволяет сформировать более плотную и однородную структуру бетона, что дает возможность получить резкий прирост однодневной прочности и увеличение ее по истечении 28 суток твердения. В производстве пенобетона либо полистиролбетона наиболее экономически вы-

годно легкое доизмельчение цемента, т. е. чем выше удельная поверхность цемента, тем выше его активность. Так, увеличение удельной поверхности цемента с песком в агрегатах измельчения, например, в балансирной вибрационной мельнице для сверхтонкого помола, за один прогон дает увеличение его активности на 5%, что дает увеличение прочности в первые сутки нормального твердения на 45% от прочности контрольных образцов.

Рассмотрим конструкцию вертикальной вибрационной балансирной мельницы, предложенную нами (рисунок 1).

Вертикальная вибрационная балансирная мельница состоит из рамы 1 с установленным эксцентриковым валом 2, на концах которого посредством тяг 7 подвешены помольные камеры 4. Помольные камеры 4 закреплены к плите рамы 1 пружинами 8. Привод 3 эксцентрикового вала осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. Помольные камеры соединены между собой коромыслом 6 с помощью шарнира 5.

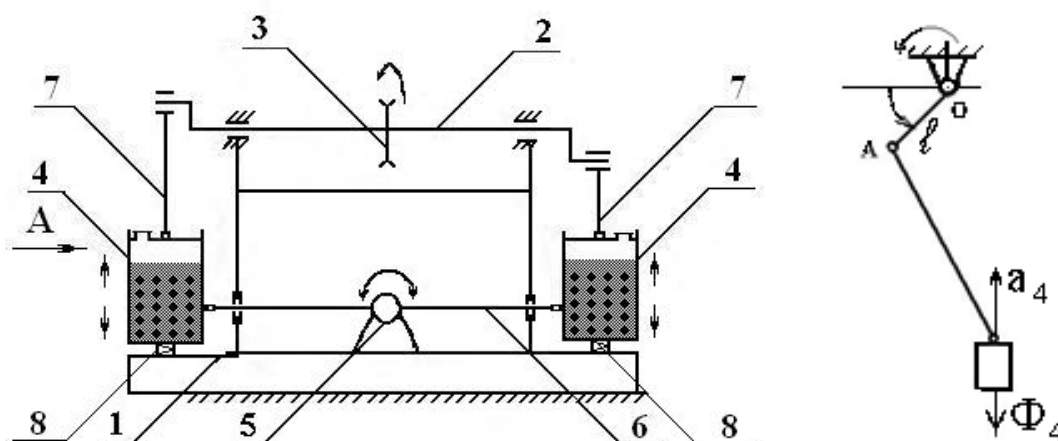


Рис. 1. Принципиальная и кинематическая схемы балансирной вибрационной мельницы

При работе мельницы камеры 4 с измельчаемым материалом совершают колебательные движения вверх – вниз и металлические шары, находящиеся в камерах совместно с измельчаемым материалом, совершают колебательные движения; при этом металлические шары доизмельчают материал в камере. Наличие эксцентрикового вала 2 (рисунок 1.) обеспечивает колебательные движения помольных камер. Пружины 8 снижают возможность передачи вибрации на фундамент. Амплитуда колебаний помольных камер – до 10 мм. В отличие от шаровых мельниц барабанного типа, где имеют место круговые колебания, которые достигаются за счет вращения дебаланса, вследствие перекачивания мате-

риала с мелющими шарами, в вертикальных мельницах колебания совершаются в вертикальной плоскости. Это позволяет с большей точностью описать работу элементов колебательной системы.

При работе мельницы камеры 4, в которых находится измельчаемый материал и в несколько слоев металлические шары, совершают колебательные перемещения вверх – вниз; при этом происходит доизмельчение материала.

Для анализа работы балансирной вибрационной мельницы проведем небольшие построения, для чего рассмотрим нашу мельницу сбоку (рисунок 1). Вращение эксцентрикового вала условно представим как вращение кривошипа ОА. Прямолинейное движение камер задано уравнением $y = a \cdot \sin(k \cdot t + \beta)$, описывающим гармоническое колебательное движение. Постоянная a , равная величине наибольшего отклонения камер от ее среднего положения является амплитудой колебаний. Аргумент синуса $(k \cdot t + \beta)$ называют фазой колебания, а β - начальной фазой. Постоянная k называется циклической частотой колебаний.

Кинематический анализ предлагаемой мельницы показывает, что

$$\vec{\omega} = \vec{const}, \quad \psi = \omega \cdot t, \quad R = R_6(L_7; h; b).$$

Ускорение точки А — $a_A = \omega^2 \cdot l$.

Ускорение тела 4 — $a_4 = a_A \cdot \sin \varphi = \omega^2 \cdot l \cdot \sin \omega t$.

Сила инерции тела 4 — $\Phi_4 = m_4 \cdot a_4 = m_4 \cdot \omega^2 \cdot l \cdot \sin \omega t$.

Угловое ускорение тела 6 — $\varepsilon_6 = a_4 / 0,5l = \frac{2\omega^2 \cdot l}{L} \cdot \sin \omega t$.

Момент сил инерции тела 6 (однородный стержень длиной L)

$$M_6^{\circ} = I_6 \cdot \varepsilon_6 = \frac{m_6 \cdot L^2}{12} \cdot \frac{2\omega^2 \cdot l}{L} \cdot \sin \omega t.$$

Для получения дифференциального уравнения движения системы (тел 4 и 6) придаем телу 6 возможное перемещение δ_{φ} и запишем общее уравнение динамики:

$$M_6^{\circ} \cdot \delta_{\varphi} + 2 \cdot \hat{O}_4 \cdot \delta_{\varphi} \cdot L / 2 + m_4 \cdot g \cdot \delta_{\varphi} \cdot L / 2 - m_4 \cdot g \cdot \delta_{\varphi} \cdot L / 2 = 0.$$

Проведя преобразования, получим:

$$R = \left(\frac{m_6}{3} + 2 \cdot m_4 \right) \cdot \omega^2 \cdot l \cdot \sin \omega t.$$

К числу главных положительных качеств балансирных вибрационных мельниц относится простота конструкции, динамическая уравновешенность вибрирующей системы, удобство обслуживания и качество измельчения.

На кафедре ТТМ под руководством проф. СИВАЧЕНКО Л.А разработана и изготовлена уменьшенная модель балансирной вибрационной мельницы для сверхтонкого помола (рисунок 2).



Рис. 2. Лабораторная установка балансирной вибрационной мельницы для сверхтонкого помола

Учитывая достаточно большое количество мелющих шаров не связанных друг с другом, сложно предположить некоторую закономерность в движениях шаров под нагрузкой, но можно предположить некоторые моменты, касающиеся режимов работы мельницы [1].

Выделим в общем объеме одной из помольных камер вертикальный цилиндрический столб, состоящий из металлических шаров и измельчаемого материала (рисунок 3).

Все металлические шары в выделенном цилиндрическом столбе имеют суммарную массу десяти шаров $m_{ш\sum}$ и массу измельчаемого материала $m_{изм}$.

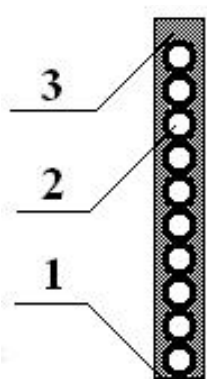


Рис. 3. Цилиндрический столб. 1 – часть дна помольной камеры; 2 –металлические шары; 3 – измельчаемый материал в составе цилиндрического столба

На рисунке 4 представлена расчетная схема двухмассовой колебательной системы левой помольной камеры.

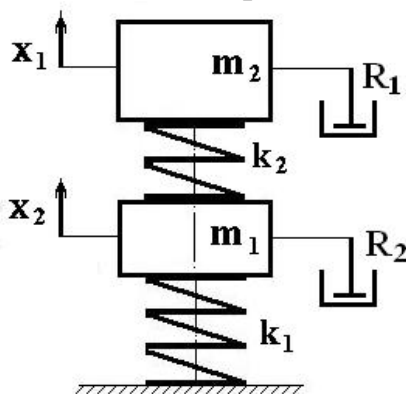


Рис. 4. Расчетная схема двухмассовой колебательной системы левой помольной камеры

На рисунке 4 принятые обозначения соответствуют:

m_1 – масса части днища помольной камеры;

m_2 – масса всех элементов цилиндрического столба (мельющих шаров и измельчаемого материала);

k_1 – жесткость взаимодействия части днища помольной камеры с плитой основания вертикальной вибрационной балансирной мельницы;

k_2 – жесткость взаимодействия между m_1 и m_2 ;

R_1 и R_2 – коэффициенты вязких потерь в рассматриваемой колебательной системе.

Рассмотрим конструктивную схему помольной камеры с материалом для измельчения и мелющими шарами (рисунок 5).

В отличие от традиционных шаровых мельниц, в которых вибрации помольных камер возникают при вращении дебаланса, получаемого смещением металлических шаров и измельчаемого материала, корпус помольной камеры вертикальной вибрационной балансирной мельницы, предложенной нами, совершает колебания только в одной плоскости. Это позволяет при реализации данной вертикальной балансирной вибрационной мельницы составить математическую модель работы отдельных колебательных элементов (мельющих шаров).

В шаровые мельницы обычно загружают мелющие шары, диаметр которых зависит от размеров частиц измельчаемого материала (чем крупнее частицы измельчаемого материала, тем более крупными мелющими шарами следует загружать шаровую мельницу).

Для вертикальной вибрационной балансирной мельницы по известным методикам проектирования принимаем исходные параметры для расчетной модели.

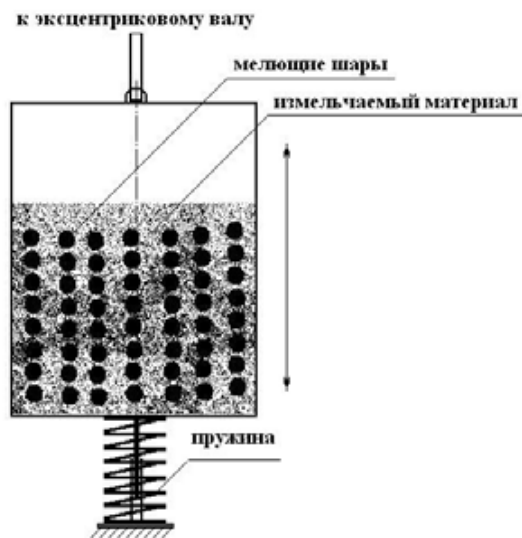


Рис. 5. Схема устройства помольной камеры вертикальной вибрационной балансирующей мельницы

Помольная камера совершает постоянные колебания в вертикальной плоскости под действием возмущающей силы, которая передается от приводного вала с эксцентриком посредством штока, причем левая и правая помольные камеры находятся в противофазе – если левая помольная камера находится в верхнем вертикальном положении, то правая находится в нижнем вертикальном положении. Внизу помольные камеры связаны с рамой через пружину сжатия, что существенно снижает возможность передачи вибрации на плиту фундамента.

Колебательная система, включающая в себя массу помольной камеры, суммарную массу мелющих шаров и массу измельчаемого материала, имеет собственную частоту колебаний, которую можно определить по формуле

Все металлические шары в выделенном цилиндрическом столбе имеют суммарную массу десяти шаров $m_{ш\sum}$ и массу измельчаемого материала $m_{изм}$.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_{\Sigma}}},$$

где k – суммарная жесткость пружинного подвеса;

m_{Σ} - суммарная масса всех элементов, совершающих колебания (помольной камеры, мелющих шаров и измельчаемого материала).

При работе мельницы возможно возникновение различных случайных ситуаций:

- 1) отрыв мелющих шаров от дна помольной камеры;
- 2) образование разрывов между мелющими шарами и измельчаемым материалом.

Кроме соударений между мелющими шарами, частиц измельчаемого материала между собой, возможны соударения частиц измельчаемого материала с корпусом помольной камеры. Все эти комбинации соударений будут сопровождаться измельчением материала.

Список литературы

1. Данекер В.А. Математическое моделирование режимов работы колебательной шаровой мельницы. / Известия Томского политехнического университета Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 5. С. 141-151.

УДК 621.86

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАНАТОВ В КАЧЕСТВЕ ГИБКИХ ГРУЗОНЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУЗО- ПОДЪЁМНЫХ МАШИН

Денисов И.А.¹

1. ФГБОУ ВО Брянский государственный технический университет

В данной работе рассмотрены основные вопросы, касающиеся применения синтетических канатов в качестве гибких элементов полиспастных систем механизмов подъёма грузоподъёмной техники, представлены результаты анализа нормативной документации, регулиющей использование канатов из синтетических волокон в конструкции подъёмных средств, проведён обзор конструкций кранов с синтетическими канатами, выпущенных европейскими производителями за последние 5 лет.

Ключевые слова: грузоподъёмная машина, механизм подъёма, синтетический канат, полиспаст.

FEATURES OF USING SYNTHETIC ROPES AS FLEXIBLE LOAD- BEARING ELEMENTS OF HOISTING MACHINES

Denisov I.A.¹

1. Bryansk State Technical University

In this paper, the main issues concerning the application of synthetic ropes or flexible elements polyspast systems lifting mechanisms of hoisting equipment, the results of analysis of normative documents regulating the use of ropes made of synthetic fibers in the design of lifting tools, the review of designs with synthetic ropes, released European manufacturers over the last 5 years.