

Корчевский А. Н.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ В ВИДЕ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Представлен кинематический анализ мехатронной системы аппаратов веерного типа разделения — вибропневматического сепаратора и концентрационного стола, которые широко применяются для сепарации зернистых материалов. Получены уравнения движения деки, определена скорость полюса деки и ее угловая скорость, а также угловое ускорение деки, скорость и ускорение любой точки деки.

Ключевые слова: кинематический анализ, дека, уравнения движения, скорость, ускорение, полюс деки.

1. Введение

Гравитационное оборудование широко применяется в различных технологиях разделения зернистых материалов, в частности для обогащения полезных ископаемых. Рабочий орган в ряде аппаратов выполнен в виде плоскости. Конструктивная схема для вибропневматического сепаратора (ВПС) (рис. 1) и вибрационного концентрационного стола (ВКС) (рис. 2), имеет ряд отличительных особенностей [1, 2]. Параметры регулирования аппаратов, применяемых в схемах сухих методов (в частности, вибропневматических сепараторов) и в схемах мокрых методов обогащения (концентрационных столов) влияют на технологические показатели процесса. Вибропневматические сепараторы и концентрационные столы, хотя и применяются в различных технологических схемах обогащения ископаемых, отличающихся технологическими свойствами и крупностью, имеют сходные параметры конструирования, статики, кинематики и динамики, как мехатронной системы.

В связи с этим актуальной научно-практической задачей является рассмотрение, определение зависимостей и анализ кинематических параметров движения рабочего органа и связи параметров его перемещения с учетом возможности управления показателями разделения.

2. Анализ исследований и публикаций

Исследования, проводившиеся многими авторами, позволили определить основные параметры технологии сепарации зернистых материалов на указанных аппаратах [3, 4]. Однако до настоящего времени остаются вопросы, связанные с эффективным регулированием процесса разделения в зависимости от механических параметров сложной системы. Использование концентрации на наклонных подвижных плоскостях в тонком потоке жидкости, а также вибропневматической сепарации с учетом конструктивных особенностей аппаратов позволяет оперативно изменять управляющие параметры для достижения высоких показателей процесса [5, 6].

В настоящее время кафедра ОПИ ГВУЗ «ДонНТУ» (г. Донецк) участвует в создании мобильных обогащительных комплексов (МОК) для целей, обусловленных техническими условиями на продукцию, при работе не только с первичными минеральными ресурсами, но

и со вторичными, которые считались до настоящего момента отходами или забалансовыми [7–9].

3. Результаты кинематического анализа аппаратов с подвижной плоской рабочей поверхностью

Вибропневматический сепаратор (далее ВПС) и вибрационный концентрационный стол (ВКС), как аппараты веерного типа разделения представляют собой мехатронную систему, состоящую из механической и электрической частей, системы управления.

Обозначения конструктивных особенностей аппаратов приняты одинаковыми на рис. 1, 2 в соответствии с их общими чертами.

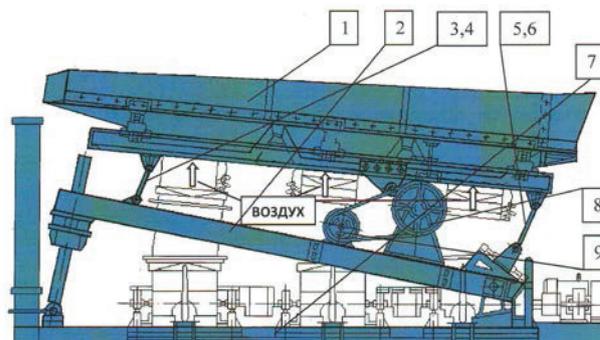


Рис. 1. Конструкция механической части ВПС веерного типа

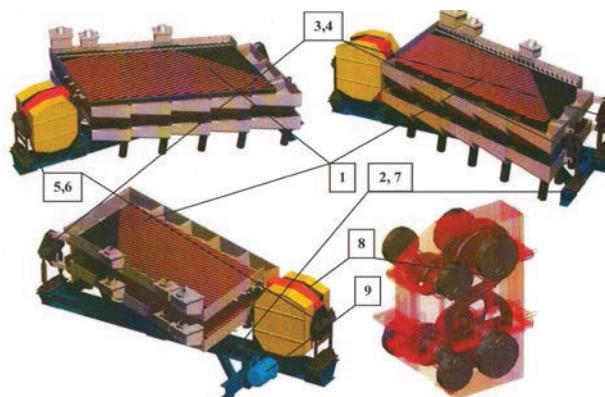


Рис. 2. Конструкция механической части ВКС веерного типа

Механическая часть аппаратов с подвижной плоской рабочей поверхностью веерного типа разделения (рис. 1, 2) представляет собой систему твердых тел, соединенных специальными устройствами — связями. Основной рабочий орган — дека 1 с определенным способом организации нарифления. Дека ВПС имеет перфорированную поверхность, что позволяет пропускать через деку напорный технологический воздух для создания эффекта «кипящий слой» в постели обрабатываемого материала.

Дека ВКС имеет сплошную поверхность и кипящий слой разделяемого материала создается за счет турбулентных потоков жидкости, текущей по наклонной. Дека крепится к неподвижной раме 2 с помощью четырех тяг, конструктивно реализованных в виде одинаковых цилиндрических стержней 3, 4, 5 и 6. Соединение стержней с декой и рамой осуществляется с помощью цилиндрических шарниров: стержни соединены с рамой шарнирами O_1, O_2, O_3, O_4 (рис. 3), а с декой посредством шарниров A, B, A_1, B_1 (рис. 3).

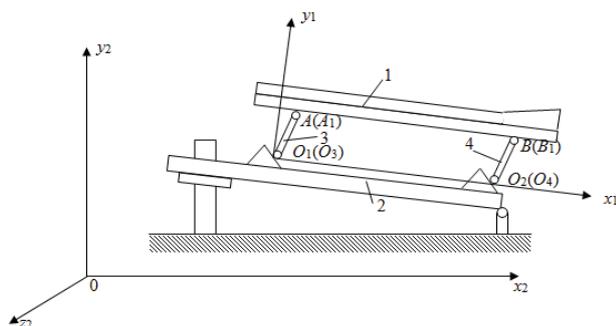


Рис. 3. Конструктивная схема механической системы

В равновесном состоянии дека опирается шарнирно на ось рычага вибровозбудителя 8. Электродвигатель 9 через клиноремennую передачу сообщает главному валу вибровозбудителя крутящий момент. Эксцентриковые валы и эксцентрично шарнирно закрепленный рычаг передают инерционную колебательную силу в точку крепления шарнира рычага и деки. Дека совершает в рабочем режиме вибрационные движения. Шарниры O_1 и O_2 могут перемещаться вдоль наклонной плоскости — рамы 2 с целью изменения углов наклона стержней к прямой, проходящей через точки O_1, O_2 (ось x_1) (рис. 3).

Дека совершает плоскопараллельное движение, так как конструкция не поворачивается вокруг вертикальной оси y_2 и ей перпендикулярной оси x_2 .

Следовательно, все сечения механизма движутся в плоскостях, параллельно неподвижной плоскости Ox_2y_2 , одинаково.

Достаточно рассмотреть движение одного такого сечения. Для удобства выберем сечение, проходящее через тяги 3 и 4. В плоскости этого сечения введем систему координат Ox_1y_1 , ось x_1 направим параллельно раме по отрезку O_1O_2 , ось y_1 перпендикулярно x_1 (рис. 3).

Так как дека совершает плоское движение, то достаточно рассмотреть движение ее сечения S в плоскости $O_1x_1y_1$ согласно кинематической схеме (рис. 4).

Движение плоской фигуры можно задать с помощью координат ее полюса и угла поворота вокруг полюса. За полюс выбираем точку A . Ее координаты в неподвижной системе координат $O_1x_1y_1$ обозначим x_A, y_A и вычислим:

$$E_A = l_1 \cdot \cos \varphi_1; C_A = l_1 \cdot \sin \varphi_1, \quad (1)$$

где l_1 — длина стержня O_1A ; φ_1 — угол образуемый стержнем O_1A с осью x_1 ($\varphi_1 = \angle AO_1O_2$).

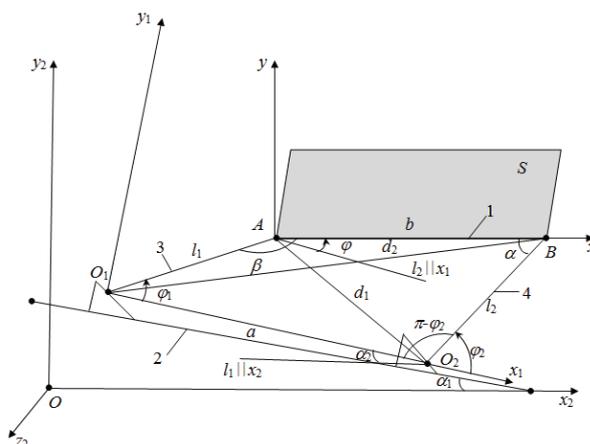


Рис. 4. Кинематическая схема системы

С плоскостью S свяжем подвижную систему координат Axy , ось x которой направим по AB , а ось y перпендикулярно ей. Угол, образуемый осью x (или AB) с прямой l_2 параллельной x_1 , обозначим φ .

При движении механизма x_A, y_A, φ являются функциями времени t :

$$\begin{cases} x_A = x_A(t); \\ y_A = y_A(t); \\ \varphi = \varphi(t). \end{cases} \quad (2)$$

Эти уравнения представляют собой уравнения или закон движения деки.

Рассматриваемая система является механической системой с одной степенью свободы, ее положение можно задать с помощью угла φ_1 . Координаты полюса A вычисляются через φ_1 с помощью соотношений (1). Выражение угла φ через φ_1 имеет вид:

$$\varphi = \varphi_1 - (\pi - \beta), \quad (3)$$

$$\varphi = \pi + \varphi_1 + \arccos(a_1 - a_2 \cos \varphi_2). \quad (4)$$

Определение скорости полюса деки и ее угловой скорости. Кинематическими характеристиками движения деки в целом является скорость полюса A и ее угловая скорость ω .

Скорость полюса определяется из выражения:

$$V_A = \omega_1 l_1, \quad (5)$$

где $\omega_1 = \dot{\varphi}_1$ — угловая скорость тяги 3 (стержня O_1A). Угловая скорость деки ω равна:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{a \sin \varphi_2 - l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \dot{\varphi}_1 = \\ &= \omega = \frac{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{a \sin \varphi_2 - l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \dot{\varphi}_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Последние соотношения можно записать в виде:

$$\omega = f_3(\phi_1, \phi_2)\omega_1 = \omega = f_4(\phi_1, \phi_2)\omega_2. \tag{7}$$

Определение скорости любой точки деки. Рассмотрим любую точку $M(x,y)$ деки, радиус-вектор которой F , и вычислим ее скорость (рис. 5).

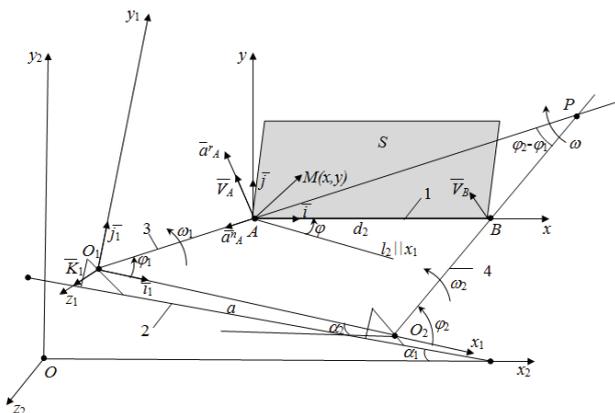


Рис. 5. Расчетная схема определения скорости полюса деки и ее угловой скорости

Введя базис $O_1\tau_1J_1K_1$ неподвижной системы координат $O_1x_1y_1$ и базис $A\tau J$ подвижной системы координат Axy (рис. 5) получено уравнение связи:

$$\bar{i}_1 = \cos\phi_1\bar{i} - \sin\phi_1\bar{j}, \tag{8}$$

$$\bar{j}_1 = \sin\phi_1\bar{i} + \cos\phi_1\bar{j}. \tag{9}$$

Решением системы уравнений (8) и (9) является уравнение:

$$\bar{V}_A = V_{Ax_1}\bar{i}_1 + V_{Ay_1}\bar{j}_1 + \begin{vmatrix} \bar{i}_1 & \bar{j}_1 & \bar{k}_1 \\ 0 & 0 & \omega \\ x_1 & y_1 & 0 \end{vmatrix}. \tag{10}$$

Угловое ускорение деки. Угловое ускорение деки, определяемое как $\varepsilon = \dot{\omega}$, можно представить в виде:

$$\varepsilon = g_1\varepsilon_1 + g_2\varepsilon_2, \tag{11}$$

где

$$g_1 = \frac{2a_2(\cos\phi_2(1-(a_1-a_2\cos\phi_2)^2) + a_2\sin^2\phi_2(a_1-a_2\cos\phi_2))\omega_2^2}{(1-(a_1-a_2\cos\phi_2)^2)^2},$$

$$g_2 = -\frac{a_2\sin\phi_2}{\sqrt{1-(a_1-a_2\cos\phi_2)^2}}. \tag{12}$$

Ускорение любой точки деки. Ускорение полюса мехатронной системы определяется как:

$$\bar{a}_A = \bar{a}_A^i + \bar{a}_A^n. \tag{13}$$

Вектор углового ускорения:

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon k_1. \tag{14}$$

В базисе неподвижной системы координат $O_1x_1y_1$ ускорение имеет вид:

$$\bar{a} = a_{x_1}\bar{i}_1 + a_{y_1}\bar{j}_1. \tag{15}$$

Модуль ускорения любой точки деки будет:

$$|a| = \sqrt{a_{x_1}^2 + a_{y_1}^2}. \tag{16}$$

Таким образом, получены основные зависимости для определения скорости полюса деки и ее угловой скорости, скорости любой точки деки, углового ускорения деки, ускорения любой точки деки.

4. Выводы

Кинематический анализ мехатронной системы позволяет дать ответ на следующие вопросы:

1. Задать форму движения деки.
2. Составить уравнения движения.
3. Определить угловую и линейную скорости полюса деки.
4. Определить скорости любой точки деки.
5. Определить угловые линейные ускорения деки.
6. Определить ускорения любой точки деки.

Решение поставленных задач поможет реализовать принцип максимально эффективного задания закона движения рабочего органа, с целью управления технологическим процессом разделения материала.

Литература

1. Берт, Р. О. Технология гравитационного обогащения [Текст] / Р. О. Берт. — М.: Недра, 1990. — 574 с.
2. Братченко, Б. Ф. Оборудование для обогащения угля [Текст]: справ. пос. / под ред. Б. Ф. Братченко. — М.: Недра, 1979. — 336 с.
3. Шевченко, А. Г. Развитие научных основ процессов вибрационного перемещения и разделения минерального сырья в жидкости на колеблющейся поверхности [Текст]: дисс. на соиск. степ. докт. техн. наук / А. Г. Шевченко. — Днепрпетровск, 2011. — 523 с.
4. Исаев, И. Н. Концентрационные столы [Текст]: монография / И. Н. Исаев. — М.: Госгортехиздат, 1962. — 100 с.
5. Корчевский, А. Н. Исследование параметров перемещения наклонной подвижной поверхности, используемой для сепарации материалов [Текст] / А. Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин. — 2013. — № 54(95). — С. 69–77.
6. Nazymko, O. I. Simulation of the Coal and Rock Particle Interaction Kinetics During the Dry Separation [Text] / O. I. Nazymko et al. // Proceedings of XVI ICCP. — USA, 2010. — P. 581–586.
7. Corchevsky, A. N. Simulation of coal separation and dehydration processes [Text] / A. N. Corchevsky et al. // Proceedings of XVII ICCP. — Turkey, 2013. — P. 695–700.
8. Корчевский, А. Н. Применение сухой сепарации для обогащения каменных и бурых углей [Текст] / А. Н. Корчевский // Proceedings of the XII national Conference with international participation of the open and underwater mining of minerals. — Bulgaria, 2013. — P. 363–369.
9. Корчевский, А. Н. Исследование разделения отходов на концентрационном столе [Текст] / А. Н. Корчевский и др. // Proceedings of the XII national Conference with international participation of the open and underwater mining of minerals. — Bulgaria, 2013. — P. 381–388.
10. Павлыш, В. Н. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых [Текст]: монография / В. Н. Павлыш, Е. И. Назимко, А. Н. Корчевский и др.; под общ. ред. В. Н. Павлыш, Е. И. Назимко. — Донецк: ВИК, 2014. — 463 с.

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ АПАРАТІВ З РУХОМИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ В ВИГЛЯДІ ПЛОСКОЇ ПОВЕРХНІ

Представлений кінематичний аналіз мехатронної системи апаратів віяльного типу розділення — вібропневматичного сепаратора та концентраційного столу, що широко використовуються для сепарації зернистих матеріалів. Одержані рівняння руху деки, визначена швидкість полюсу деки та її кутова швидкість, а також кутове прискорення деки, швидкість та прискорення будь-якої точки деки.

Ключові слова: кінематичний аналіз, дека, рівняння руху, швидкість, прискорення, полюс деки.

Корчевський Олександр Николаевич, кандидат технічних наук, доцент, дійсний член Міжнародної Академії

безопасности жизнедеятельности, заведующий лабораторией, Углекислотная лаборатория НИЧ, кафедра обогащения полезных ископаемых, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина, e-mail: korchev_al@ukr.net.

Корчевський Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, дійсний член Міжнародної Академії безпеки життєдіяльності, завідувач лабораторії, Вуглекислотна лабораторія НДЧ, кафедра збагачення корисних копалин, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна.

Korchevskiy Alexander, Donetsk National Technical University, Ukraine, e-mail: korchev_al@ukr.net

УДК 691:620.1/972.12

Кравченко А. В.

ВПЛИВ АЛЮМІНАТНИХ ДОБАВОК НА СПУЧЕННЯ ГЕОЦЕМЕНТНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ

Представлено аналіз результатів визначення впливу алюмінатних добавок на спучення геоцементного вогнезахисного покриття. Враховуючи зниження здатності до спучення після витримки на повітрі 30 діб, встановлено, що найбільш ефективною є добавка глинозему кількістю 10 %, об'ємний коефіцієнт спучення якої — 13,7 мм³/г.

Ключові слова: спучення, геоцементне покриття, неорганічне зв'язуюче, алюмінатні добавки.

1. Вступ

Деревина при нагріві 180–200 °С за рахунок термодеструкції виділяє легкозаймисті летучі речовини [1]. Тому будівельні конструкції з деревини потребують вогнезахисних засобів (фарби, обмазки, покриття) на органічних і неорганічних зв'язуючих. Але незважаючи на деякі переваги, засоби на органічних зв'язуючих, мають суттєві недоліки: при дії полум'я покриття спучуються з виділенням токсичних речовин в навколишнє середовище, утворений піно-коксний шар низької теплопровідності легко вимивається з поверхні деревини потоками тепла внаслідок низької адгезійної здатності, при цьому оголюється поверхня деревини та створюються умови для її подальшої займистості та горіння.

В засобах на неорганічних зв'язуючих як правило застосовується рідинне скло, яке являє собою дисперсійне середовище з унікальною структурною будовою, що дозволяє при нагріванні вище 150 °С утворювати пористий неорганічний шар густиною від 50 до 150 кг/м³ і має значну адгезію до дерев'яного підкладу. Але при розробці таких засобів найменше враховується той факт, що вогнезахисні покриття на основі рідинного скла мають високу чутливість до виду та кількості модифікуючих добавок, яка проявляється в першу чергу за рахунок розрідження суміші, що призводить до втрати здатності покриттів до спучування.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

По даним наукових робіт [2–5] відомо, що для вогнезахисту деревини найбільш доцільно використовувати покриття на основі неорганічного лужного алюмосилікатного зв'язуючого — геоцементу. Процес спучення геоцементних композицій проходить за рахунок виділення хімічно зв'язаної і цеолітної води зі складу продуктів твердіння, що представлені цеолітоподібними новоутвореннями типу гейландиту, жоказиту, усингіту та алюмінатних гідрослюд [6].

У роботах [7, 8] було досліджено вплив основних структуроутворюючих оксидів геоцементу, магnezіальних і залізозміщуючих добавок як на процес спучення, так і на процес структуроутворення геоцементних вогнезахисних композицій, але, на сьогоднішній день, відсутня інформація щодо впливу алюмінатних добавок на спучення таких композицій після їх тверднення та у часі.

Метою дослідження було визначення впливу алюмінатних добавок на об'ємний коефіцієнт спучення вогнезахисних покриттів на основі геоцементу та їх здатність до спучення у часі, яка б зберігалась при експлуатації системи «вогнезахисне покриття — деревина».

3. Результати досліджень здатності до спучення геоцементного вогнезахисного покриття

Об'ємний коефіцієнт спучення було отримано по методу визначення об'єму зразка, що утворився після