

УДК 622.764:621.928.6

**А.Н. КОРЧЕВСКИЙ** (канд. техн. наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

### КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА АППАРАТОВ С НАКЛОННОЙ ПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СОСТОЯНИЕ ПОСТЕЛИ

Приведены аналитические выражения для определения ряда кинетических параметров движения деки вибрационного пневматического сепаратора и вибрационного концентрационного стола в виде кинетических характеристик – скорости полюса деки угловой скорости, которые могут быть использованы при исследовании перемещения частиц по поверхности деки.

**Ключевые слова:** полюс деки, угловая скорость, кинематика, угловое перемещение, мехатронная система, степень свободы.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Гравитационные оборудование, применяемое для обогащения зернистых полезных ископаемых с рабочим органом в виде плоскости с конструктивной схемой (рис.1), имеют ряд отличительных особенностей [1, 2, 7, 9]. Параметры регулирования аппаратов, применяемых в схемах сухих методов (в частности, вибропневматических сепараторов) и 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.

**Анализ исследований и публикаций.** 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.

Разработки кафедры ОПИ ДПИ способствовали быстрому строительству и пуску фабрик с пневматическим методом обогащения на шахтах Ленинск-Кузнецка, Коркино, Екатеринбург, Подмоскovie и Прокопьевска в двадцатом столетии. В тот период и позже работало 13 обогатительных фабрик и 10 обогатительных установок, которые ежегодно перерабатывали более 30 млн. т углей или около 8% всех обогащаемых углей СССР [2, 3].

В настоящее время кафедра ОПИ ГВУЗ «ДонНТУ» участвует в создании мобильных обогатительных 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.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является продолжение работ по созданию математической модели параметров движения рабочих органов аппаратов с наклонной в пространстве подвижной декой.

**Изложение материала и результаты.** Вибропневматический сепаратор, как и концентрационный стол, представлен в виде мехатронной системы (рис. 1).

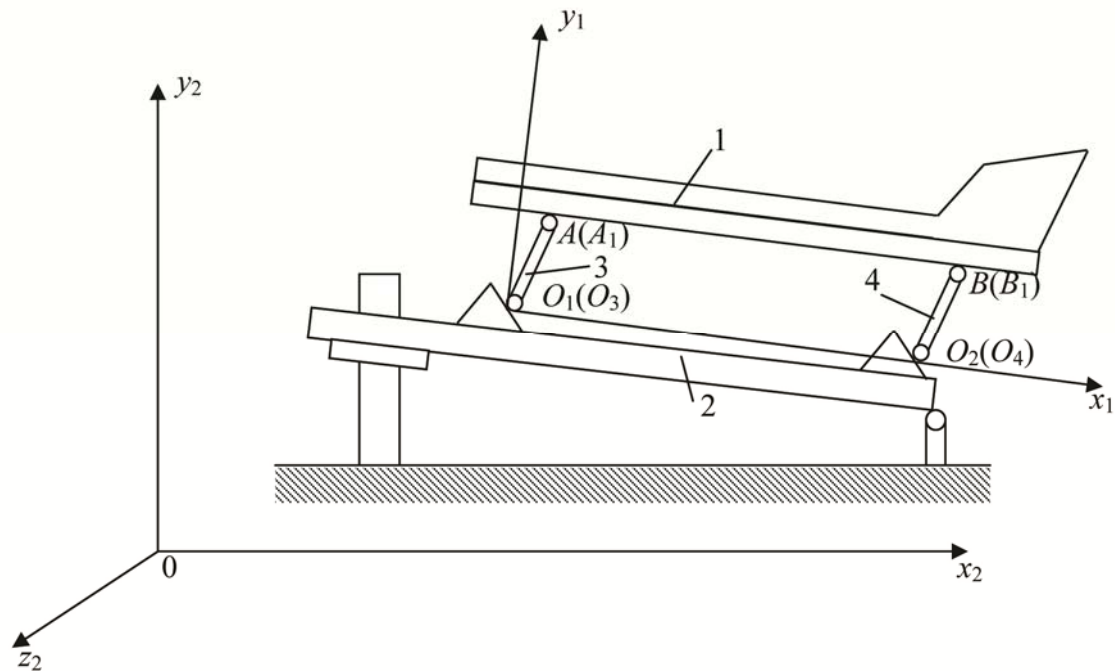


Рис. 1. Конструктивная схема механической системы сепаратора:  
1 – рабочий орган – дека; 2 – рама; 3, 4, 5, 6 – регулируемые опоры с шарнирным соединением

Рабочий орган системы, по которому перемещается разделяемый материал, совершает плоскопараллельное движение. В допущениях рассмотрения кинематической схемы вводится рассмотрение плоского сечения  $S$  в плоскости  $O_1x_1y_1$  (рис. 2).

Координаты полюса  $A$  в неподвижной системе координат  $O_1x_1y_1$  определены по зависимостям:

$$\begin{aligned}x_A &= l_1 \cdot \cos \varphi_1; \\ y_A &= l_1 \cdot \sin \varphi_1,\end{aligned}\quad (1)$$

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

Мехатронная система является системой с одной степенью свободы, ее положение задано показателем угла  $\varphi_1$ .

Угол  $\varphi$  имеет равенство через угол  $\varphi_1$ :

$$\varphi = \varphi_1 - (\pi - \beta). \quad (2)$$

При движении деки угол  $\beta$  имеет определенный диапазон изменений, зависящий от конструктивных параметров опор, и определяемый как:

$$d_2^2 = l_1^2 + b^2 - 2l_1b \cos \beta. \quad (3)$$

Тогда 
$$\beta = \arccos(a_1 - a_2 \cos \varphi_2). \quad (4)$$

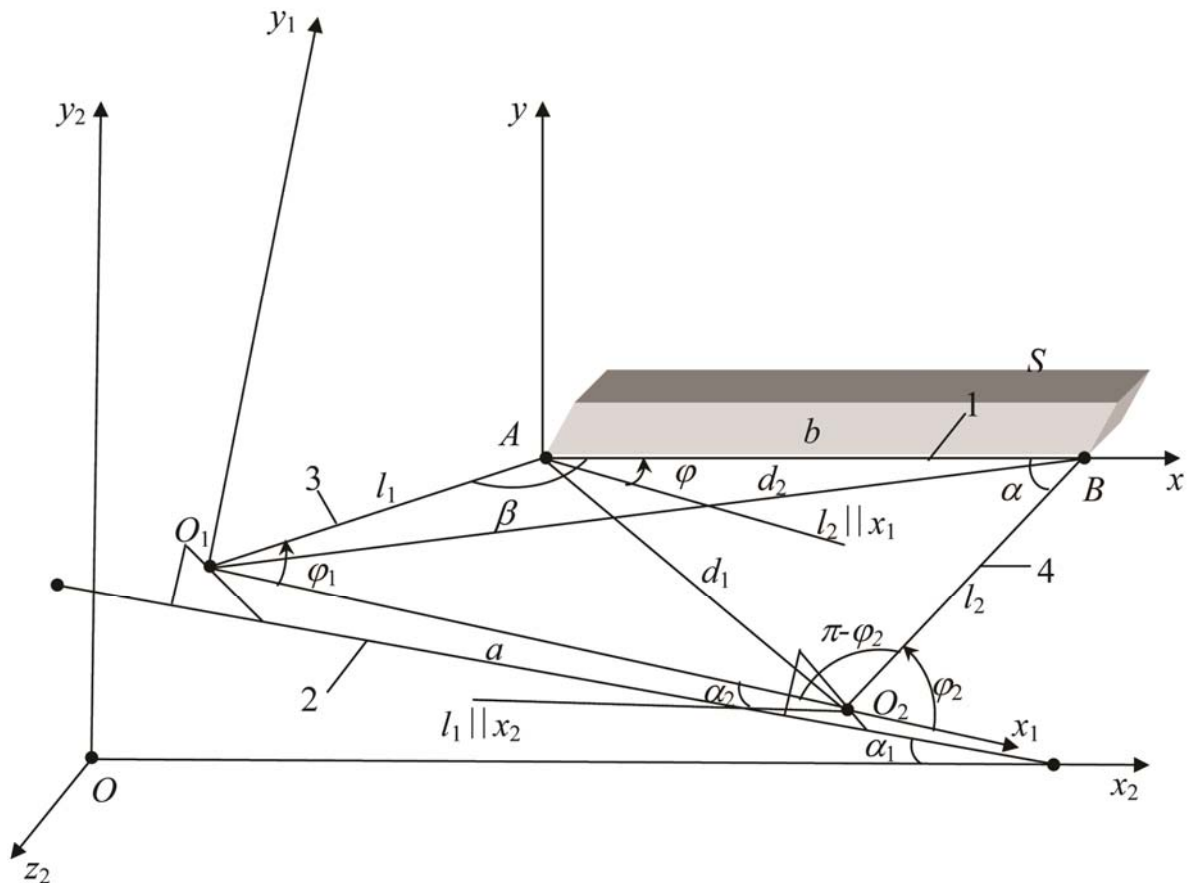


Рис. 2.

Угол  $\varphi_2$  имеет функциональную связь с углом  $\varphi_1$ :

$$\varphi_2 = f_1(\varphi_1), \quad (5)$$

$$f_1(\varphi_1) = \pi - \arccos \left( \frac{a_1(c - a_2) - \sqrt{(c^2 - 1)(a_1^2 - a_2^2 + 2a_2 - 1)}}{a_2^2 - 2ca_2 - 1} \right), \quad (6)$$

$$y = \cos \varphi_1. \quad (7)$$

Основной задачей кинематического анализа является определение кинематических характеристик движения деки: скорости полюса деки  $A$  и ее угловая скорость  $\omega$ .

Вычислим скорость полюса:

$$V_A = \omega_1 l_1, \quad (8)$$

где  $\omega_1 = \dot{\varphi}_1$  – угловая скорость тяги 3 (стержня  $O_1A$ ).

Скорость  $\bar{V}_A$  полюса направлена перпендикулярно к  $O_1A$  в сторону вращения тяги 3. Точкой обозначена производная по времени  $t$ .

Угловая скорость деки  $\omega$  поддается вычислению двумя способами: аналитическим и способом построения мгновенного центра скоростей.

Аналитический способ вычисления мгновенного центра скоростей зависит от угла поворота  $\varphi$ :

$$\omega = \dot{\varphi}. \quad (9)$$

Согласно (2)  $\varphi = \varphi_1 + \beta - \pi$ , то  $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_1 + \dot{\beta}$ .

Вычислив  $\dot{\beta}$ , получим:

$$\omega = \dot{\varphi}_1 - \frac{a_2 \sin \varphi_2}{\sqrt{1 - (a_1 - a_2 \cos \varphi_2)^2}} \dot{\varphi}_2. \quad (10)$$

Вычислим угловую скорость  $\omega_2$  тяги (стержень  $O_2B$ ):

$$\omega = \dot{\varphi}_2. \quad (11)$$

Для этого продифференцируем уравнение связи углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ :

$$\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2 + \frac{a_2 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1}{\sqrt{1 - (a_1 - a_2 \cos \varphi_1)^2}} - \frac{a_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2}{\sqrt{1 - (a_1 - a_2 \cos \varphi_2)^2}} = 0, \quad (12)$$

Тогда выразим  $\dot{\varphi}_2$  через  $\dot{\varphi}_1$ :

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{\left(1 + \frac{a_2 \sin \varphi_1}{\sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_1)^2}}\right) \dot{\varphi}_1}{1 + \frac{a_2 \sin \varphi_2}{\sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_2)^2}}}$$

или

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{\left(\sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_1)^2} + a_2 \sin \varphi_1\right) \sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_2)^2}}{\left(\sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_2)^2} + a_2 \sin \varphi_2\right) \sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_1)^2}} \dot{\varphi}_1 \quad (13)$$

Угловые скорости тяг 3 и 4 связаны соотношением:

$$\omega_2 = f_2(\varphi_1, \varphi_2) \omega_1. \quad (14)$$

где

$$f_2(\varphi_1, \varphi_2) = \frac{\left(\sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_1)^2} + a_2 \sin \varphi_1\right) \sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_2)^2}}{\left(\sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_2)^2} + a_2 \sin \varphi_2\right) \sqrt{1 - (a_1 + a_2 \cos \varphi_1)^2}}.$$

Угловая скорость  $\omega$  деки вычисляется с помощью метода построения мгновенного центра скоростей. Скорость точек  $A$  и  $B$ :

$$V_A = \omega_1 l_1, \quad V_B = \omega_2 l_2 \quad (15)$$

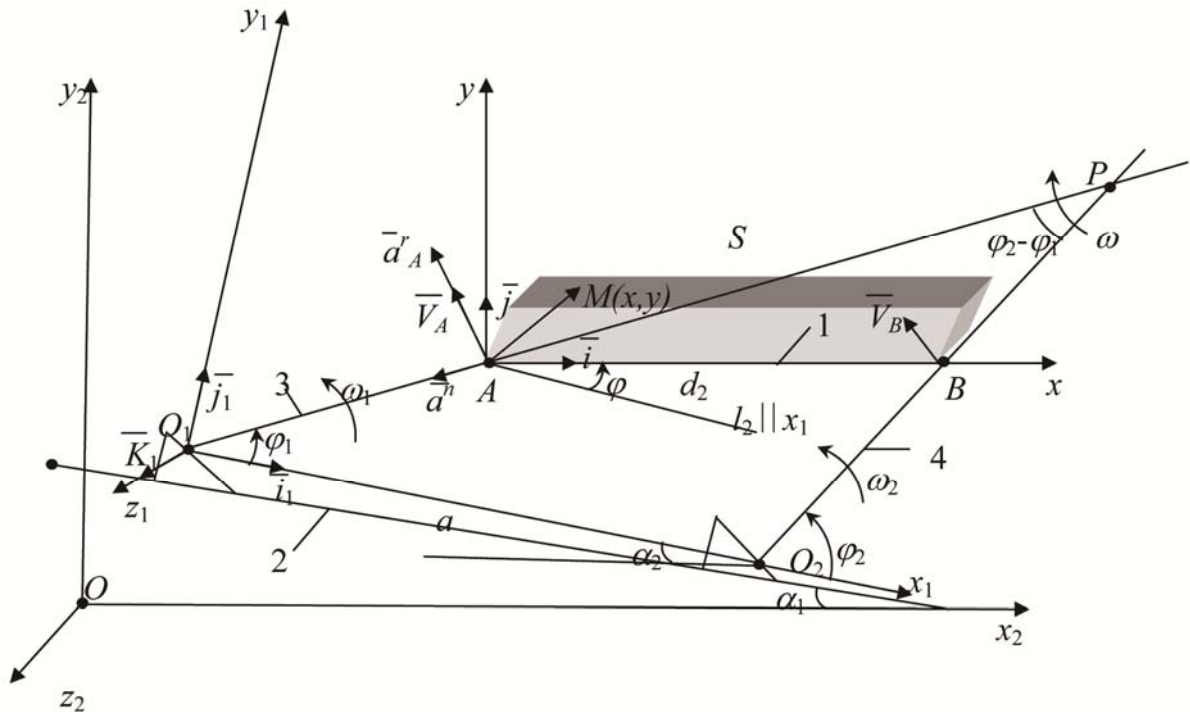


Рис. 3. Расчетная схема определения скорости полюса деки и ее угловой скорости

Мгновенный центр скоростей (МЦС) деки находится в точке  $P$  пересечения перпендикуляров, восстановленных в точках  $A$ ,  $B$  к векторам их скоростей  $\bar{V}_A$ ,  $\bar{V}_B$  (точка пересечения прямых, проходящих через  $O_1A$  и  $O_2B$ ) (рис. 3).

Согласно кинематике плоского движения можно записать:

$$\omega_A = \frac{V_A}{AP} = \frac{V_B}{BP}. \quad (16)$$

Вычислим  $AP$  и  $BP$ . Из треугольника  $O_1O_2P$  (рис. 3) по теореме синусов

$$\frac{O_1P}{\sin(\pi - \varphi_2)} = \frac{O_2P}{\sin \varphi_1} = \frac{a}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (17)$$

Так как  $O_1P = O_1A + AP = l_1 + AP$ , то:

$$\frac{l_1 + AP}{\sin \varphi_1} = \frac{a}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

отсюда

$$AP = \frac{a \cdot \sin \varphi_2 - l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (18)$$

Так как  $O_2P = O_2B + BP = l_2 + BP$ , то:

$$\frac{l_2 + BP}{\sin \varphi_1} = \frac{a}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

отсюда

$$BP = \frac{a \cdot \sin \varphi_1 - l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (19)$$

Угловая скорость деки  $\omega$  равна

$$\omega = \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{a \sin \varphi_2 - l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \dot{\varphi}_1, \quad (20)$$

или

$$\omega = \frac{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{a \sin \varphi_2 - l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \dot{\varphi}_2, \quad (21)$$

Последние соотношения можно записать в виде:

$$\omega = f_3(\varphi_1, \varphi_2) \omega_1, \quad (22)$$

$$\omega = f_4(\varphi_1, \varphi_2) \omega_2, \quad (23)$$

где

$$f_3(\varphi_1, \varphi_2) = \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{a \sin \varphi_2 - l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}, \quad (24)$$

$$f_4(\varphi_1, \varphi_2) = \frac{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{a \sin \varphi_1 - l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}, \quad (25)$$

### Выводы и направления дальнейших исследований

Анализ основных кинематических характеристик деки – скорость полюса движения деки и угловой скорости, в предстоящих исследованиях даст возможность созданию модели зависимости поведения слоя материала на поверхности рабочего органа в зависимости от конструктивных параметров аппаратов.

Дальнейшие исследования необходимо посвятить определению зависимостей для определения скоростей и ускорений любой точки деки.

**Список использованной литературы**

1. Корчевский А.Н. Исследование параметров перемещения наклонной подвижной поверхности, используемой для сепарации материалов / А.Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 54(95). – С. 69-77.
2. Исаев И.Н. Концентрационные столы: монография / И.Н. Исаев. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 100 с.
3. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения / Р.О. Берт. – М.: Недра, 1990. – 574 с.
4. Оборудование для обогащения угля: справ. пособие / под ред Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1979. – 335 с.
5. Nazymko O.I. Simulation of the Coal and Rock Particle Interaction Kinetics During the Dry Separation / O.I. Nazymko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, V.V. Nazymko, Y.A. Rozanov, S.V. Martyanov // Proceedings of XVI ICCP. – USA. – 2010. – P. 581-586.
6. Corchevsky A.N. Simulation of coal separation and dehydration processes / O.I. Nazymko, Y.A. Rozanov, S.V. Martyanov // Proceedings of XVII ICCP. – Turkey. – 2013. – P. 695-700.
7. Корчевский А.Н. Применение сухой сепарации для обогащения каменных и бурых углей / 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.
8. Корчевский А.Н. Исследование разделения отходов на концентрационном столе / А.Н. Корчевский, К.В. Гуменюк, Е.И. Назимко // Proceedings of the XII national Conference with international participation of the open and underwater mining of minerals. – Bulgaria, 2013. – P. 381-388.

*Надійшла до редакції 17.12.2013*

О.М. Корчевський

**КИНЕМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХУ РОБОЧОГО ОРГАНУ АПАРАТІВ З ПОХИЛОЮ РУХОМОЮ ПОВЕРХНЕЮ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТАН ПОСТЕЛІ**

Наведено аналітичні вирази для визначення ряду кінетичних параметрів руху деки вібраційного пневматичного сепаратора та вібраційного концентраційного столу у вигляді кінетичних характеристик - швидкості полюса деки кутової швидкості, які можуть бути використані при дослідженні переміщення частинок по поверхні деки.

Ключові слова: полюс деки, кутова швидкість, кінематика, кутове переміщення, мехатронна система, ступінь свободи.

A. Korchevskiy

**KINEMATIC CHARACTERISTICS OF WORKING TOOLS OF DEVICES WITH INCLINED MOVING SURFACES**

The paper provides analytical expressions for a number of kinetic parameters of the motion of the deck of a vibration-pneumatic separator and vibration table concentrator. They are given in the form of kinetic characteristics, which can be used to investigate the movement of particles along the surface of the deck.

Keywords: deck pole, angular velocity, kinematics, angular displacement, mechatronic system, degree of freedom.