

DOI: 10.12737/article\_5bd95a7c7e2732.04405794

<sup>1</sup>Уральский А.В., <sup>1</sup>Уральский В.И., <sup>1,\*</sup>Синица Е.В., <sup>1</sup>Шинкарев Л.И., <sup>1</sup>Сажнева Е.А.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
\*E-mail: sinica.ev@bstu.ru

## ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В КАМЕРАХ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА

**Аннотация.** В настоящее время значительное внимание уделяется повышению эффективности помольного оборудования для производства высокодисперсных порошков. Одним из перспективных направлений является создание энергосберегающих центробежных измельчителей. В статье рассмотрен помольный агрегат, основу которого составляет рычажный механизм, позволяющий обеспечить различные траектории движения помольных камер и, соответственно, различное динамическое воздействие мелющих тел на измельчаемый материал. Представлены теоретические исследования движения мелющих тел в камере центробежного помольного агрегата, установлены аналитические зависимости изменения угловой скорости вращения эксцентрикового вала агрегата от угловой скорости обкатывания мелющего тела (шара) по внутренней цилиндрической поверхности помольной камеры.

Рассмотрена схема сил, действующих на мелющее тело, в плоскости, перпендикулярной продольной оси камеры.

Получены выражения, описывающие изменение величины угловой скорости кругового движения шара относительно подвижной системы координат, связанной с камерой, в зависимости от системы сил, действующих на мелющее тело и конструктивных параметров камеры. Определено минимальное значение угловой скорости движения мелющего тела, обеспечивающее его обкатывание по поверхности камеры для опытно-промышленного образца центробежного помольного агрегата.

Получены дифференциальные уравнения движения мелющего тела относительно подвижных и неподвижных систем отсчета.

Полученные аналитические зависимости позволяют установить рациональный режим работы агрегата в соответствии с конкретными условиями измельчения материала.

С использованием полученных результатов определены значения параметров работы опытно-промышленного образца центробежного помольного агрегата при сухом способе измельчения. Установлен коэффициент увеличения угловой скорости вращения эксцентрикового вала в сравнении с необходимой угловой скоростью обкатывания шара по поверхности камеры.

**Ключевые слова:** помольный агрегат, рычажный механизм, помольные камеры, мелющие тела, система координат, уравнение движения, угловая скорость.

В настоящее время значительное внимание уделяется повышению эффективности помольного оборудования для производства высокодисперсных порошков [1, 2]. Одним из перспективных направлений является создание энергосберегающих центробежных измельчителей, обеспечивающих селективное динамическое воздействие на материал в ходе всего технологического цикла измельчения в зависимости от конкретных требований к качеству готового продукта [3–7].

В Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова созданы центробежные помольные агрегаты (ЦПА) с различными конструктивно-технологическими параметрами. Основой конструкции агрегатов являются кривошипно-ползунные механизмы, позволяющие обеспечить необходимые траектории движения рабочих камер (рис. 1) [8–11].

Для установления режимов работы центробежного помольного агрегата необходимо определить зависимость изменения угловой скорости

вращения эксцентрикового вала агрегата (звена АВ) от угловой скорости обкатывания мелющего тела (шара) массой  $m$  по стенке нижней помольной камеры относительно центра системы координат, связанной с камерой (рис. 2).



Рис. 1. Центробежный помольный агрегат

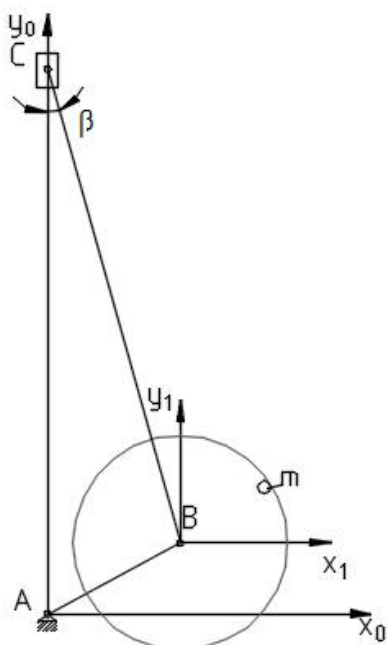


Рис. 2. Схема рычажного механизма

В первую очередь получим выражение для определения величины угловой скорости кругового движения шара относительно подвижной системы координат  $BX_1Y_1$ , связанной с камерой. На рис. 3 представлена схема сил, действующих

$$F_{mp} = N \cdot f = (F_{ur} + G') \cdot f = (F_{ur} + G \cdot (-\sin \alpha)) \cdot f = (m\omega_u^2 R - mg \sin \alpha) \cdot f, \quad (2)$$

где  $N$  – сила реакции. Н;  $f$  – коэффициент трения;  $F_{ur}$  – относительная сила инерции, Н;  $R$  – расстояние от начала координат (точки  $B$ ) до центра масс шара (точки  $K$ ) ( $R = R_0 - r_{iu}$ ), м;  $G'$  – радиальная проекция силы тяжести шара, Н;  $\omega_u$  – угловая скорость шара относительно точки  $B$  при рассматриваемом движении,  $c^{-1}$ .

Подставляя выражение (2) в условие (1), получаем

$$(m\omega_u^2 R - mg \sin \alpha) \cdot f > mg \cos \alpha,$$

или

$$f(\omega_u^2 R - g \sin \alpha) > g \cos \alpha. \quad (3)$$

Экстремальное положение шара будет при  $\alpha = 90^\circ$ . Тогда  $\sin \alpha = 1, \cos \alpha = 0$ . При этих условиях получаем

$$\omega_u^2 R > g.$$

Отсюда

$$\omega_u > \sqrt{\frac{g}{R}}. \quad (4)$$

Опытно-промышленный образец центробежного помольного агрегата имеет цилиндрические помольные камеры с внутренним радиусом  $R_0 = 0,075$  м. Рекомендуемый размер мелющих

на мелющее тело, в плоскости, перпендикулярной продольной оси камеры.

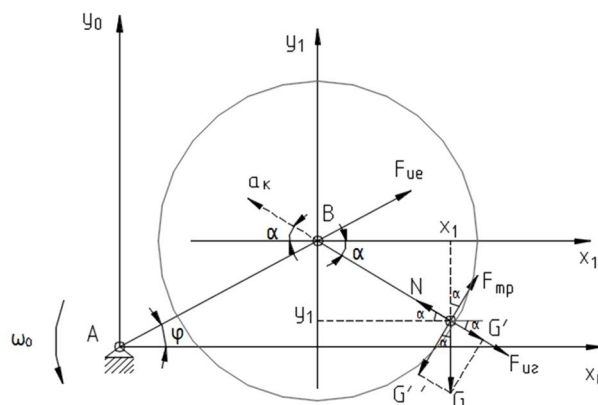


Рис. 3. Расчетная схема

Для удержания шара от скатывания по внутренней цилиндрической поверхности камеры необходимо выполнение условия

$$F_{тр} > G'', \quad (1)$$

где  $F_{тр}$  – сила трения, Н;  $G''$  – проекция силы тяжести шара  $G$  на направление движения шара, Н ( $G'' = G \cos \alpha = mg \cos \alpha$ );  $m$  – масса шара, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $\alpha$  – угол, определяющий положение шара, град.

Сила трения определяется выражением

тел в нижней камере агрегата при измельчении хрупких материалов (например, кварцитопесчаника) составляет  $D = 0,01$  м, т.е.  $r_{iu} = 0,005$  м.

Получаем  $R = R_0 - r_{iu} = 0,075 - 0,005 = 0,07$  м.

Подставляя эту величину в (4) определим минимальное значение угловой скорости движения мелющего тела, обеспечивающее его обкатывание по поверхности камеры. Получаем  $\omega_u = 11,8 \text{ с}^{-1}$ .

Дифференциальные уравнения движения материальной точки относительно подвижных, в общем случае неинерциальных, систем отсчета получают из уравнений движения точки относительно инерциальной (неподвижной) системы отсчета и кинематической теоремы Кориолиса о сложении ускорений [12].

Имеем инерциальную систему  $Ax_0y_0$  и материальную точку (шар) массой  $m$ , на которую действуют приложенные силы  $\vec{F}$  и  $\vec{N}$ .

Уравнение движения

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N}, \quad (5)$$

где  $\vec{F}$  – равнодействующая заданных активных сил, Н;  $\vec{N}$  – равнодействующая сил реакций связей, Н;  $\vec{a}$  – абсолютное ускорение,  $\text{м/с}^2$ .

$$\bar{a} = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_k, \quad (6)$$

где  $\bar{a}_e$  – переносное ускорение;  $\bar{a}_r$  – относительное ускорение;  $\bar{a}_k$  – кориолисово ускорение.

Подставляя выражение (6) в (5), получим

$$m\bar{a}_r = \bar{F} + \bar{N} + \bar{\Phi}_e + \bar{\Phi}_k, \quad (7)$$

где  $\bar{\Phi}_e = -m\bar{a}_e$  – переносная сила инерции;  $\bar{\Phi}_k = -m\bar{a}_k$  – кориолисова сила инерции.

Исходя из динамической теоремы Кориолиса, или уравнения относительного движения точки в векторной форме, материальная точка движется относительно неинерциальной системы отсчета так же, как и относительно инерциальной системы, только к приложенным активным силам и реакциям связей следует добавить переносную и кориолисову силы инерции [12].

Нижняя камера помольного агрегата, закрепленная на шатуне (звене BC) рычажного механизма (рис. 2) при вращении эксцентрикового вала поворачивается на угол  $\beta$ . Максимальная величина этого угла будет при положении эксцентрикового вала, когда угол ABC равен  $90^\circ$ . При этом, с учетом конструктивных параметров опытно-промышленного образца помольного агрегата  $l_{AB} = 0,02$  м,  $l_{BC} = 0,66$  м, получаем

$$\tan \beta_{max} = \frac{l_{AB}}{l_{BC}} = \frac{0,02}{0,66} = 0,03.$$

Величина угла  $\beta_{max} \approx 1,7^\circ$ . Исходя из малой величины угла, поворотом звена BC можно пренебречь.

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = m\omega_0^2 e \cos \varphi + m\omega_u^2 R f \sin \alpha + mgf \sin^2 \alpha - mg \sin \alpha \cos \alpha \\ m\ddot{y}_1 = m\omega_0^2 e \sin \varphi - mg + m\omega_u^2 R f \cos \alpha + mgf \sin \alpha \cos \alpha + mg \sin^2 \alpha \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = \omega_0^2 e \cos \varphi + \omega_u^2 R f \sin \alpha + gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha \\ \ddot{y}_1 = \omega_0^2 e \sin \varphi - g + \omega_u^2 R f \cos \alpha + gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha \end{cases} \quad (9)$$

Проекция ускорения точки K при установившемся обкатывании шара по поверхности помольной камеры определяются выражениями:

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_k = -a_k \cos \alpha = -\omega_u^2 R \cos \alpha$$

$$\begin{cases} -\omega_u^2 R \cos \alpha = \omega_0^2 e \cos \varphi + \omega_u^2 R f \sin \alpha + gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha \\ \omega_u^2 R \sin \alpha = \omega_0^2 e \sin \varphi - g + \omega_u^2 R f \cos \alpha + gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} -\omega_0^2 e \cos \varphi = \omega_u^2 R \cos \alpha + \omega_u^2 R f \sin \alpha + gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha \\ -\omega_0^2 e \sin \varphi = -\omega_u^2 R \sin \alpha - g + \omega_u^2 R f \cos \alpha + gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha \end{cases} \quad (11)$$

Обозначив в этих уравнениях

$$\begin{aligned} gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha &= A, \\ gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha - g &= B, \end{aligned}$$

В связи с этим считаем, что система  $BX_1Y_1$  относительно системы  $AX_0Y_0$  не вращается, движется поступательно, оси параллельны. Следовательно, ускорение Кориолиса  $\bar{a}_k = 0$ .

Составляем дифференциальные уравнения движения шара относительно подвижной системы координат в проекциях на подвижные оси координат:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = F_{ue_x} + G'_x - G''_x + F_{ur_x} + F_{mp_x} - N_x \\ m\ddot{y}_1 = F_{ue_y} - G'_y - G''_y - F_{ur_y} + F_{mp_y} + N_y \end{cases} \quad (8)$$

где

$$F_{ue_x} = m\omega_0^2 e \cos \varphi; F_{ue_y} = m\omega_0^2 e \sin \varphi;$$

$$G' = G \sin \alpha = mg \sin \alpha; G'' = G \cos \alpha = mg \cos \alpha;$$

$$G'_x = mg \sin \alpha \cos \alpha; G'_y = mg \sin \alpha \sin \alpha;$$

$$G''_x = mg \cos \alpha \sin \alpha; G''_y = mg \cos \alpha \cos \alpha;$$

$$F_{ur_x} = m\omega_u^2 R \cos \alpha; F_{ur_y} = m\omega_u^2 R \sin \alpha;$$

$$N_x = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) \cos \alpha;$$

$$N_y = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) \sin \alpha;$$

$$F_{mp_x} = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) f \sin \alpha;$$

$$F_{mp_y} = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) f \cos \alpha.$$

Подставляя выражения, определяющие силовые факторы, в (8) и сделав ряд преобразований, получим

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_k = a_k \sin \alpha = \omega_u^2 R \sin \alpha. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получаем систему уравнений

получим следующую систему уравнений, из которой определится зависимость изменения угловой скорости вращения эксцентрикового вала агрегата  $\omega_0$  от угловой скорости  $\omega_u$  обкатывания мелющего тела (шара) по стенке нижней помольной камеры и конструктивных параметров камеры

$$\begin{cases} \omega_0^2 e \cos \varphi = \omega_u^2 R (\cos \alpha + f \sin \alpha) + A \\ \omega_0^2 e \sin \varphi = \omega_u^2 R (f \cos \alpha - \sin \alpha) + B \end{cases} \quad (12)$$

В результате решения системы уравнений (12) получим следующее выражение

$$\omega_0 = \sqrt[4]{\frac{\omega_u^4 R^2 [(\cos \alpha + f \sin \alpha)^2 + (f \cos \alpha - \sin \alpha)^2] + 2\omega_u^2 R [(\cos \alpha + f \sin \alpha) \cdot A + (f \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot B] + A^2 + B^2}{e^2}} \quad (13)$$

Определим величину  $\omega_0$ , обеспечивающую положение мелющего тела в положении при  $\alpha = 90^\circ$ ,

$$\omega_0 = \sqrt[4]{\frac{\omega_u^4 R^2 (1 + f^2) + 2\omega_u^2 R f^2 g + g^2 f^2}{e^2}} \quad (14)$$

Подставив в выражение (14) значения параметров опытно-промышленного образца центробежного помольного агрегата и учитывая наличие вязкого трения при сухом способе измельчения, при котором принимаем  $f = 0,5$ , находим  $\omega_0 = 29,1 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, угловая скорость вращения эксцентрикового вала должна быть почти в 2,5 раза больше необходимой угловой скорости обкатывания шара по поверхности камеры.

Полученные аналитические зависимости позволяют установить рациональный режим работы агрегата в соответствии с конкретными условиями измельчения материала.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тараканов О.В., Белякова Е.А. Формирование микроструктуры цементных материалов с минеральными и комплексными добавками // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 4 (33). С. 60–69.

2. Чувакова К.С., Дмитриев Ю.А., Сумской Д.А. Сырьевые материалы для производства сухих строительных смесей и требования к ним / Эффективные строительные композиты: Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (Белгород, 2-3 апр. 2015), Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 743–750.

3. Воробьев Н.Д. Математическое моделирование в процессах измельчения и классификации материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 397 с.

4. Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д. Математическая модель двухступенчатого вибрационного механизма // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №2. С. 195–201.

5. Герасимов М.Д., Герасимов Д.М. Определение закона движения, скорости и ускорения центра масс планетарного вибровозбудителя //

Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 12. С. 8–11.

6. Герасимов М.Д. Способ получения направленных механических колебаний для практического применения в технологических процессах // Строительные и дорожные машины. 2014. № 1. С. 35–38.

7. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Mkrtuchev O.V. Determination of the driving forces asymmetry factor and the vibrostands works analysis // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45392–45398.

8. Пат. 2277973 Российская Федерация В 02С 17/18. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2005118705/03, заявл. 24.06.05 опубл. 20.06.06, Бюл. №17.

9. Пат. 2381837 Российская Федерация, В 02С 17/08. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова., ООО «ТК РЕЦИКЛ». № 2008109444/03, заявл. 11.03.08; опубл. 20.02.2010, Бюл. №5.

10. Сеница Е.В., Уральский А.В., Плетнев А.В. Влияние движения мелющей загрузки на динамику центробежного помольно-смесительного агрегата / Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии: сб. докладов Международной научно-практической конференции // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. С. 188–192.

11. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В., Уральский А.В. Вопросы динамического исследования центробежного помольно-смесительного агрегата / Вибрационные машины и технологии: Сборник науч. тр. // редкол: С.Ф. Яцун (отв. ред.) [и др.]; Курский гос.техн. унив-т. Курск, 2008. С. 596–601.

12. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики: Учебник для машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов. 6-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2003. 719 с.

*Информация об авторах*

**Уральский Алексей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: Alexh\_1984.10@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Уральский Владимир Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: wiural@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Синица Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: sinica.ev@bstu.ru, e-mail: evsinica@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Шинкарев Леонид Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сажнева Екатерина Александровна**, аспирант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в июле 2018 г.*

© Уральский А.В., Уральский В.И., Синица Е.В., Шинкарев Л.И., Сажнева Е.А., 2018

<sup>1</sup>Uralskiy A.V., <sup>1</sup>Uralskiy V.I., <sup>1</sup>\*Sinitsa E.V., <sup>1</sup>Sazhneva E.A.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

\*E-mail: sinica.ev@bstu.ru

## FEATURES OF GRINDING BODIES MOVEMENT IN THE CENTRIFUGAL GRINDING UNIT CHAMBERS

**Abstract.** Nowadays improving an efficiency of grinding equipment for the production of highly disperse powders is important. The perspective area is a creation of energy-saving centrifugal grinders. The article deals with the grinding machine. The grinder is based on a lever mechanism that provides different trajectories of chambers and various dynamic effects of grinding bodies on the ground material. Theoretical studies of grinding bodies movement in a chamber of centrifugal grinding unit are presented. Analytical dependences of change in an angular velocity of the eccentric shaft rotation on an angular velocity of rolling the grinding body (ball) along the inner cylindrical surface of the grinding chamber are established. The scheme of forces acting on the grinding body in a plane perpendicular to longitudinal axis of the chamber is considered. The change in an angular velocity of the ball circulation relative to the moving coordinate system associated with the chamber, depending on the system of forces affecting the grinding body and design parameters of the chamber are defined. The minimum value of an angular velocity of the grinding body movement, which ensures its rolling along the chamber surface for an experimental and industrial sample of a centrifugal grinding unit, is obtained. Differential equations of grinding body movement relative to moving and fixed frames of report are achieved. Obtained analytical dependencies allow establishing a rational operating mode of the unit in accordance with the specific conditions for the grinding material. Parameters value of experimental and industrial model of a centrifugal grinding unit with a dry grinding method are designated. The coefficient of increase in an angular velocity of the eccentric shaft rotation in comparison with the required angular velocity of ball rolling over the chamber surface is established.

**Keywords:** grinding unit, linkage, grinding chamber, grinding bodies, coordinate system, equation of movement, angular velocity.

### REFERENCES

1. Tarakanov O.V., Belyakova E.A. Formation of the microstructure of cement materials with mineral and complex additives. Regional architecture and construction, 2017, no. 4 (33), pp. 60–69.

2. Chuvakova K.S., Dmitriev Yu.A., Sums kaya D.A. Raw materials for the production of dry building mixtures and requirements for them. Effective building composites: Scientific and Practical Conference for the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences Bazhenov

Yuri Mikhailovich, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (2-3 April 2015), Belgorod:BSTU, 2015, pp. 743–750.

3. Vorobyev N.D. Mathematical modeling in the processes of grinding and classification of materials. Belgorod: BSTU, 2014, 397 p.

4. Gerasimov MD, Vorobyov N.D. Mathematical model of a two-stage vibrational mechanism. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 2, pp. 195–201.

5. Gerasimov M.D., Gerasimov D.M. Determination of the law of motion, velocity and acceleration of the center of mass of a planetary exciter. International Journal of Applied and Fundamental Research, 2013, no. 12. pp. 8–11.

6. Gerasimov M.D. Method of obtaining directed mechanical oscillations for practical application in technological processes. Construction and road machines, 2014, no. 1, pp. 35–38.

7. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Mkrtychev O.V. Determination of the driving forces asymmetry factor and the vibrostands works analysis. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, T. 10. no. 24, pp. 45392–45398.

8. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Sinita E.V. Grinding-mixing unit. Patent RF, no. 2005118705/03, 2006.

9. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Ural V.I., Sinita E.V. Grinding-mixing unit. Patent RF, no. 2008109444/03, 2010.

10. Sinita E.V., Uralsky A.V., Pletnev A.V. Influence of grinding loading on the dynamics of a centrifugal grinding-mixing unit. Scientific research, nanosystems and resource-saving technologies in the construction industry: coll. reports of the International Scientific and Practical Conference. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod: BSTU, 2007, pp. 188–192.

11. Sevostyanov V.S., Uralsky V.I., Sinita E.V., Uralsky A.V. Questions of dynamic research of a centrifugal grinding-mixing unit. Vibrating machines and technologies: Collection of scientific articles, Kursk State Technical University:Kursk, 2008, pp. 596–601.

12. Nikitin N.N. Course of Theoretical Mechanics. M.: High School, 2003, 719 p.

#### *Information about the author*

**Uralskiy, Alexey V.** PhD, Assistant professor. E-mail: Alexx\_1984.10@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Uralskiy, Vladimir I.** PhD, Assistant professor. E-mail: wiural@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Shinkarev, Leonid I.** PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Sinita, Elena V.** PhD, Assistant professor. E-mail: sinica.ev@bstu.ru; e-mail: evsinica@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Sazhneva, Ekaterina A.** Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in July 2018*

#### **Для цитирования:**

Уральский А.В., Уральский В.И., Синица Е.В., Шинкарев Л.И., Сажнева Е.А. Особенности движения мелющих тел в камерах центробежного помольного агрегата // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 138–143. DOI: 10.12737/article\_5bd95a7c7e2732.04405794

#### **For citation:**

Uralskiy A.V., Uralskiy V.I., Sinita E.V., Shinkarev L.I., Sazhneva E.A. Features of grinding bodies movement in the centrifugal grinding unit chambers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 138–143. DOI: 10.12737/article\_5bd95a7c7e2732.04405794