ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 621.86:531.8 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-57-64

Влияние силы Кориолиса на кинематику куска в рабочем пространстве измельчителя

Косарев Н. П.[1], Зубов В. В.[1]*, Потапов В. Я.[1], Потапов В. В.[1]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: 2c1@unbox.ru

Реферат

Актуальность работы. *Выпускаемые в настоящее время роторные истиратели имеют недостаточную эффективность, которая характеризуется главным образом степенью измельчения. Основная причина сложившейся ситуации заключается в недостаточной изученности процессов, протекающих в лабиринтном роторе встречного удара при измельчении материала, и, как следствие, в недостаточной научной обоснованности методов проектирования. Геометрические параметры и скорость вращения рабочего органа до настоящего времени назначаются эмпирически по принципу подобия, что неминуемо приводит к отклонениям тонины и производительности измельчения от заданных значений. Совершенствование конструкции, позволяющее повысить эффективность работы устройств, невозможно без анализа кинематики куска в канале измельчителя. Особое внимание следует уделить влиянию силы Кориолиса на кинематику куска, что позволит научно обосновать зависимость, определяющую соотношение между конструктивными параметрами и технологическими показателями оборудования.*

Методология. *В ходе проведенного исследования использовался факторный анализ, синтез данных и методы математического и физического моделирования.*

Объект исследования *– роторные измельчители для подготовки горной породы к опробованию.*

Предмет исследования *– рабочий процесс роторного измельчителя встречного удара.*

Задача исследования *– повышение эффективности работы роторного измельчителя руды за счет анализа движения частиц в каналах ротора.*

Методы исследования. *Анализ движения частиц в каналах ротора выполнен с использованием положений теоретической механики и теории удара, а в качестве математического аппарата выступает дифференциальное исчисление.*

Результаты и выводы. *Необходимо на базе анализа предложенной теории движения частиц, основываясь на качественных представлениях процессов в роторе измельчителя встречного удара, сформировать основу для получения количественных зависимостей, предназначенных для конструкторских расчетов. Это позволит совершенствовать методики проектирования и создания роторного измельчителя нового типа. Установлено, что сила Кориолиса снижает относительную скорость куска не более чем на 20,3 % в зависимости от принятых допущений.*

Ключевые слова: *роторный измельчитель; кинематика куска; геометрия канала; удар; уравнение баланса энергии удара; коэффициент трения; сила Кориолиса; дифференциальные уравнения.*

Введение. В подготовке аналитических проб используются устройства для измельчения, обеспечивающие требуемый для исследования гранулометрический состав ископаемого. В основном оборудование для подготовки проб представлено дезинтеграторами, дисмембраторами, истирателями и измельчителями с ротором встречного удара (ИРВУ).

Сравнительный анализ конструкций измельчающих устройств показал, что наиболее подходящими для аналитических проб являются измельчители роторного

типа (ИРВУ), которые опережают все прочие в своем классе по производительности и надежности при минимальных габаритных размерах и массе.

Исследование особенностей конструкции ИРВУ. Устройства, использующие для измельчения встречный удар, по принципу действия близки к дезинтеграторам. На рис. 1 схематично показан рабочий орган ИРВУ.

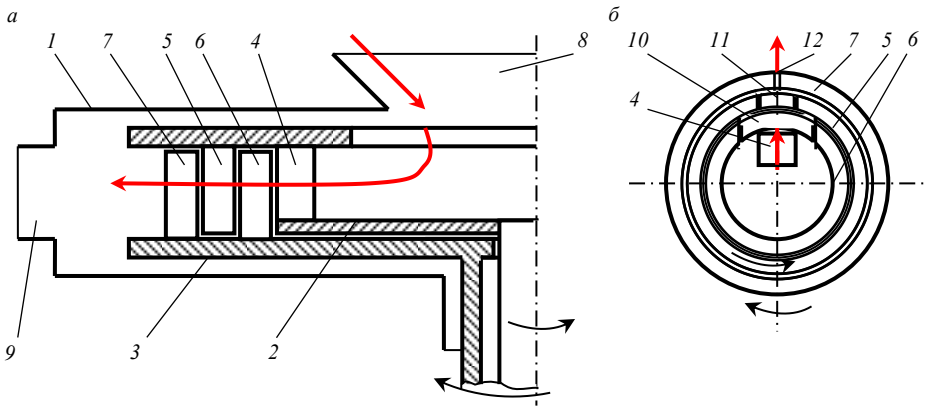

Рисунок 1. Рабочий орган ИРВУ:
а – корпус рабочего органа; *б* – кольцевые выступы
Figure 1. The grinding member of a counter-impact rotor grinder (IRVU):
а – the body of the grinding member; *б* – collars

В корпусе *1* (рис. 1, *а*) смонтированы диски *2*, *3*. На диске *2* выполнены подающие стойки *4* в количестве 4–6 шт. и кольцевой выступ *5*, а на диске *3* – кольцевые выступы *6* и *7*. Привод (на рис. 1 не показан) осуществляет вращение дисков в противоположных направлениях. На рис. 1, *б* условно изображены кольцевые выступы *4–7*. В них выполнены прорези (каналы) *10*, *11*, *12*, равномерно распределенные по окружности (показано по одному каналу в каждом выступе). Между стойками *4* и выступом *6*, а также между выступами *5*, *6* и *7* имеются гарантированные зазоры. Выступы и диски в сборе образуют подобие лабиринта, поэтому ротор получил название лабиринтного. Корпус имеет загрузочную воронку *8* и выпускной штуцер *9* [1–4].

Наиболее широко распространены ИРВУ, ротор которых содержит четыре кольцевых ряда активных элементов, первый из которых представлен подающими стойками. В качестве общего случая рассмотрим измельчение материала, имеющего исходный вид кусков с характерным размером $d_к$ = 1–10 мм.

Процесс воздействия ротора на материал включает три стадии:

1) дробление куска между подающими стойками и вторым рядом;

2) измельчение осколков между вторым и третьим рядами;

3) измельчение частиц между третьим и четвертым рядами.

Особенность работы ИРВУ [5–10] с многорядным ротором состоит в отсутствии сведений о состояния материала после первой и второй стадий измельчения. Известно, какой вид имеет материал на входе и на выходе ротора, т. е. перед первой и после третьей стадии. Что происходит с материалом в самом роторе, остается неизвестным. Проводились эксперименты, в которых изменялось число стадий, однако надежная информация об их результатах не обнаружена. Именно недостаточность описания как теоретических, так и опытных исследований постадийного изменения состояния материала заставила проанализировать данный вопрос.

Анализ движения частиц. Прежде всего следует проанализировать кинематику куска материала, находящегося под воздействием подающей стойки. Это

тем более важно в условиях высоких скоростей и малых размеров, присущих ротору ИРВУ.

Особое внимание следует уделить влиянию силы Кориолиса на кинематику куска [11–15].

На рис. 2 показана схема радиального перемещения куска по поверхности стойки ($F_{цб}$ – центробежная сила, Н). Наличие относительной скорости v_r, м/с, обусловливает возникновение силы Кориолиса $F_К$, Н, прижимающей кусок к стойке. Сила трения качения между стойкой и куском $F_{тр}$, м, снижает относительную скорость.

В том случае, когда кусок имеет форму, близкую к сферической (гранулированный материал), будет иметь место его качение по рабочей поверхности стойки. При этом $F_{тр}$ представляет собой силу трения качения, и ее влиянием можно пренебречь.

Рассмотрим случай, когда форма куска близка к параллелепипеду.

Допущения: начальная относительная скорость куска равна нулю; ориентация поверхности контакта радиальная.

Сила трения скольжения:

$$F_{тр} = F_К f = 2m\omega_1 v_r f,$$

где f – коэффициент трения скольжения куска по стойке; m – масса частицы, кг; ω_1 – угловая скорость, с$^{-1}$.

Уравнение сил имеет вид дифференциального уравнения второго порядка:

$$m\frac{d^2r}{dt^2} = m\omega_1^2 r - 2m\omega_1 f\frac{dr}{dt}, \tag{1}$$

или

$$\frac{d^2r}{dt^2} + 2\omega_1 f\frac{dr}{dt} - \omega_1^2 r = 0,$$

где d – диаметр куска, м; r – радиус перемещения частицы, м; t – время, с.

Интегралом уравнения (1) является выражение:

$$r = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t}, \tag{2}$$

где $s_{1,2}$ – обратная величина времени перемещения частицы до r_{11}, с$^{-1}$,

$$s_{1,2} = \frac{-2\omega_1 f \pm \sqrt{(2\omega_1 f)^2 + 4\omega_1^2}}{2} = -\omega_1 f \pm \omega_1\sqrt{f^2+1}, \tag{3}$$

а C_1 и C_2 – постоянные интегрирования, м, определяются из начальных условий

$$\begin{cases} t = 0 & C_1 + C_2 = r_{11}; \\ t = 0 & \dfrac{dr}{dt} = v_{r0} = 0, \end{cases} \tag{4}$$

где v_{r0} – начальная относительная скорость куска.

Дифференцирование уравнения (2) с подстановкой в него (3) при $t = 0$ приводит начальные условия (4) к системе:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = r_{11}; \\ -C_1\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}+f\right) + C_2\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}-f\right) = 0, \end{cases}$$

где r_{11} – радиус перемещения частицы на входе, м.

Решение:

$$C_1 = r_{11}\frac{\sqrt{1+f^2}-f}{2\sqrt{1+f^2}}; \qquad C_2 = r_{11}\frac{\sqrt{1+f^2}+f}{2\sqrt{1+f^2}}. \tag{5}$$

Результат подстановки (3) и (5) в (2) следующий:

$$r = \frac{r_{11}}{2\sqrt{1+f^2}}\left[\left(\sqrt{1+f^2}-f\right)e^{-\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}+f\right)t} + \left(\sqrt{1+f^2}+f\right)e^{\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}-f\right)t}\right]. \tag{6}$$

Путем дифференцирования (6) получена формула относительной скорости:

$$v_r = \frac{r_{11}\omega_1}{2\sqrt{1+f^2}}\left[e^{\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}-f\right)t} - e^{-\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}+f\right)t}\right]. \tag{7}$$

Для числовой оценки v_r необходима подстановка в (7) конкретного значения времени t.

Найдем период времени, требуемый для перемещения куска из положения r_{11} в положение r_{12}. Это можно сделать путем решения уравнения (6) относительно t. Воспользуемся методом последовательных приближений, задаваясь значениями t до тех пор, пока не выполнится равенство $r \approx r_{12}$.

Осуществим данную операцию для исходных данных: r_{11} = 40 мм; r_{12} = 85 мм; ω_1 = 300 с$^{-1}$. Коэффициент трения ориентировочно f = 0,5. Получается $t = t_{12}$ = = 0,0026 с.

Рассмотрим возможность разрушения ударом на первой стадии измельчения кускового материала.

Экспериментальная установка имела ширину пазов ротора первой стадии измельчения, равную a = 10 мм. Соответственно, количество пазов z = 24. Следовательно, угол поворота ротора при прохождении стойкой паза составляет:

$$\Delta_\varphi = a/r = 0{,}118.$$

Суммарная угловая скорость роторов, вращающихся навстречу со скоростью 300 рад/с:

$$\omega_с = 2\omega = 600.$$

Таким образом, время прохождения стойкой паза составляет, с:

$$t_п = \frac{\Delta\varphi}{\omega_с} = 19{,}7\cdot 10^{-5}.$$

При радиальной скорости движения куска $v_{r12} \approx 7$ м/с расстояние, которое пройдет кусок, мм:

$$\Delta S = v_{r12} t_{\text{п}} \approx 1,4.$$

Следовательно, ни одна частица крупностью (–7+1) мм не сможет полностью попасть в канал второго ряда. Поэтому в первой стадии измельчения будет происходить скол. Крупные частицы будут измельчаться за несколько сколов в первой стадии измельчения. Так, частица крупностью 7 мм будет расколота не меньше чем на 7 кусков. С учетом того, что при каждом сколе хрупких материалов образуется несколько осколков, степень измельчения крупных частиц будет больше 6–8 мм.

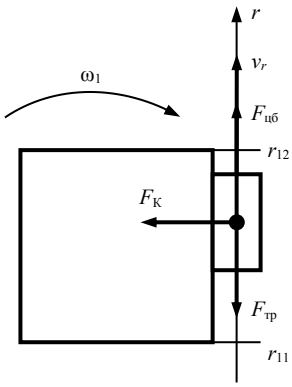

Рисунок 2. Перемещение куска по подающей стойке
Figure 2. Lump's movement along the feeding rack

Вычислим значение относительной скорости куска v''_{r12}, подставив найденное t_{12} в (7). В результате вычислений $v''_{r12} = 7,17$ м/с. Сопоставление данного значения с величиной, полученной без учета влияния силы Кориолиса и равной 9 м/с, показывает, что сила трения куска о поверхность подающей стойки привела к снижению относительной скорости.

В приведенном расчете принято допущение, что в момент вхождения куска в контакт с подающей стойкой его скорость равна нулю.

Рассмотрим другой случай: кусок входит в контакт, обладая скоростью $v_{r0} > 0$, которую он приобрел в результате падения через загрузочную воронку.

Допущения: скорость v_{r0} направлена по радиусу ротора; высота падения равна наружному диаметру ротора d_{42}.

Тогда начальные условия примут вид:

$$\begin{cases} t = 0 & C_1 + C_2 = r_{11}; \\ t = 0 & \dfrac{dr}{dt} = v_{r0} = \sqrt{2gd_{42}}, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = r_{11}; \\ -C_1\omega_1\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) + C_2\omega_1\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) = \sqrt{2gd_{42}}, \end{cases}$$

где g – ускорение свободного падения, м/с.

Откуда

$$C_1 = \frac{r_{11}\omega_1\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) - \sqrt{2gd_{42}}}{2\omega_1\sqrt{1+f^2}};$$

$$C_2 = \frac{r_{11}\omega_1\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) + \sqrt{2gd_{42}}}{2\omega_1\sqrt{1+f^2}},$$

и, следовательно,

$$r = \frac{r_{11}\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) - \sqrt{2gd_{42}}}{2\omega_1\sqrt{1+f^2}} e^{-\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}+f\right)t} +$$
$$+ \frac{r_{11}\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) + \sqrt{2gd_{42}}}{2\omega_1\sqrt{1+f^2}} e^{\omega_1\left(\sqrt{1+f^2}-f\right)t}. \quad (8)$$

Следующим шагом должно стать получение уравнения $v_r(t)$, аналогичного (7). Для снижения трудоемкости дальнейших выкладок целесообразно использовать конкретные значения входящих в (8) параметров.

Величины r_{11}, r_{12}, f, ω_1 те же, что и в случае $v_{r0} = 0$. Примем $r_{42} = 0{,}065$ м, тогда $d_{42} = 0{,}13$ м и $v_{r0} \approx 1{,}6$ м/с.

Подстановка чисел в (8) дает уравнение:

$$r = 0{,}0087e^{-485t} + 0{,}0313e^{185t}. \quad (9)$$

Величина t, при которой $r = r_{12}$, найдена методом последовательных приближений: $t = 0{,}0022$ с.

Дифференцируем (9):

$$dr/dt = v_r = -4{,}22e^{-485t} + 5{,}79e^{185t}. \quad (10)$$

Подставив в (10) найденное значение времени, получим скорость выхода куска из контакта со стойкой $v_{r12}''' = 7{,}25$ м/с, что на 19,4 % меньше.

Результаты и выводы. Одна из основных задач теоретического исследования состояла в том, чтобы, основываясь на качественных представлениях процессов в роторе ИРВУ, сформировать основу для получения количественных зависимостей, предназначенных для конструкторских расчетов. Установлено, что сила Кориолиса снижает относительную скорость куска не более чем на 20,3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zubov V. V., Simisinov D. I., Akhlyustina N. V., Khazin M. L., Davydov S. Ya. Determination of the parameters of a counterblow grinder // Refractories and Industrial Ceramics. 2018. Vol. 58. No. 5. January. P. 521–524.

2. Afanasev A. I., Simisinov D. I., Potapov V. Ya. Strengthening the blades of a high-speed mixer on the basis of wear curves // Refractories and Industrial Ceramics. 2016. Vol. 56. Issue 5. P. 452–455.

3. Ляпцев С. А., Ахлюстина Н. В. Моделирование движения частицы в измельчителе // Известия вузов. Горный журнал. 2007. № 8. С. 107–110.

4. Ахлюстина Н. В., Зубов В. В. Аэродинамика ротора измельчителя встречного удара // Фундаментальные исследования. 2014. № 8. С. 1279–1282.

5. Levdanskiy E. I., Levdanskiy I. A. Improvement of processes of gribing operation and deslimation of sylvinite ore before flotation // Proceedings of BSTU. 2015. No. 3. P. 99–104.

6. Матвеев А. И., Винокуров В. Р. Изучение эффективности работы центробежной мельницы многократного ударного действия при отрицательных температурах // ГИАБ. 2011. № 10. С. 256–258.

7. Ахлюстина Н. В., Зубов В. В. Управление воздушным потоком в каналах ротора измельчителя встречного удара // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 126–132.

8. Угольников А. В., Макаров В. Н., Макаров Н. В. Оптимизация геометрических параметров гидровихревого инерционного стратификатора Вентури // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 638–648.

9. Халкечев К. В., Халкечев Р. К. Математическая модель разрушения поликристаллов при квазистатических и ударных нагрузках // ГИАБ. 2011. Спец. вып. Методы математического моделирования в горной промышленности. С. 22–26.

10. Gazaleeva G. I., Tsherbakova Z. H., Tchervyakov S. A., Ivanova S. P. Modern methods of ultrafine grinding and selective disclosure of minerals // XV Anniversary Balkan Mineral Processing Congress. Bulgaria, 2013. P. 123–127.
11. Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Я. Г. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. С примерами из механики. М.: ЛЕНАНД, 2018. 376 с.
12. Корчевский А. Н., Назимко Е. И., Серафимова Л. И., Науменко В. Г. Подготовительные процессы при обогащении полезных ископаемых. Дробление, измельчение, грохочение и классификация. Донецк: ДонНТУ, 2017. 180 с.
13. Брагин В. Г., Волков Е. Б., Казаков Ю. М. Теоретическая механика. Екатеринбург: УГГУ, 2018. 249 с.
14. Iskenderov R., Lebedev A., Zacharin A., Lebedev P., Marjin N. Constructive and regime parameters of horizontal impact crusher of grain // Earth and Environmental Science: materials IOP Conf. Series. 2019. No. 403. P. 012057.
15. Thomasa T., Hendriks W., Poelb der Bvan. Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding // Animal Feed Sci. and Tech. 2018. No. 240. P. 11–21.

Поступила в редакцию 25 июня 2021 года

Сведения об авторах:

Косарев Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный редактор журнала «Известия Уральского государственного горного университета». E-mail: iuggu-journal@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-5690-7654
Зубов Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации горного оборудования Уральского государственного горного университета. E-mail: 2c1@unbox.ru; https://orcid.org/0000-0003-4862-523X
Потапов Валентин Яковлевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горной механики Уральского государственного горного университета. E-mail: valentin.potapov@m.ursmu.ru; https://orcid.org/0000-0002-0128-5859
Потапов Владимир Валентинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: vladimir.potapov@m.ursmu.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-57-64

Coriolis force impact on lump kinematics in a grinder workspace

Nikolai P. Kosarev[1], Vladimir V. Zubov[1], Valentin Ia. Potapov[1], Vladimir V. Potapov[1]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Research relevance. *Currently produced rotary grinders are not efficient enough, while their efficiently is mainly characterized by the degree of fineness. This is due to sparse knowledge of the processes occurring in the counter-impact labyrinth rotor when the material is being ground, and therefore insufficient scientific substantiation of the design methods. The grinding member's geometry and rotation speed have been set empirically according to the similarity principle, which inevitably results in grinding fineness and efficiency deviation from the set values. It seems impossible to improve the design and therefore the running efficiency of the equipment unless the kinematics of a lump in the channel of the grinder is analyzed. Particular attention should be paid to the Coriolis force impact on the kinematics of a lump. It will make it possible to scientifically substantiate the dependence between equipment design and technological parameters.*
Methods of research *included the factor analysis, data synthesis, and methods of mathematical and physical modeling.*
Object of research *is a rotary grinder preparing rocks for sampling.*
Subject of research *is the workflow of the counter-impact rotary grinder.*
Research objective *is to increase the efficiency of the ore rotary grinder by analyzing particles movement in the rotor channels.*
Methods of research *includes the analysis of particles motion in the rotor channels using the provisions of theoretical mechanics and the theory of impact. The differential calculus acts as a mathematical apparatus.*
Results and summary. *Based on the proposed particle motion theory analysis and qualitative representations of the processes in the rotor of the counter-impact grinder, it is essential to form the foundation to obtain quantitative dependencies for design calculations. This will improve the methods of design and construction of a new type of rotary grinder. It was found that the Coriolis force reduces the relative speed of a lump by not more than 20.3% depending on the assumptions made.*

Keywords: *rotary grinder; lump kinematics; channel geometry; impact; impact energy balance equation; friction coefficient; Coriolis forces; differential equations.*

REFERENCES

1. Zubov V. V., Simisinov D. I., Akhlyustina N. V., Khazin M. L., Davydov S. Ia. Determination of the parameters of a counterblow grinder. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2018; 58(5, January): 521–524.

2. Afanasev A. I., Simisinov D. I., Potapov V. Ia. Strengthening the blades of a high-speed mixer on the basis of wear curves. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2016; 56(5): 452–455.

3. Liaptsev S. A., Akhliustina N. V. Modelling the motion of particles in a crusher. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2007; 8: 107–110. (In Russ.)

4. Akhliustina N. V., Zubov V. V. Aerodynamics of the rotor shredder counter. *Fundamentalnye issledovaniia = Fundamental Research*. 2014; 8: 1279–1282. (In Russ.)

5. Levdanskiy E. I., Levdanskiy I. A. Improvement of processes of gribing operation and deslimation of sylvinite ore before flotation. *Proceedings of BSTU*. 2015; 3: 99–104.

6. Matveev A. I., Vinokurov V. R. Studying the operating efficiency of a multi-step centrifugal mill at subfreezing temperatures. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 10: 256–258. (In Russ.)

7. Akhliustina N. V., Zubov V. V. Control over an airstream in the channels of rotor of a grinder of counter blow. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 3: 126–132. (In Russ.)

8. Ugolnikov A. V., Makarov V. N., Makarov N. V. Optimization of geometrical parameters of the hydro-cyclone inertial Venturi separator. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2019; 240: 638–648. (In Russ.)

9. Khalkechev K. V., Khalkechev R. K. Mathematical model of polycrystalline solids breaking under quasi-static loads and impact forces. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011. Special issue. Methods of mathematical modeling in mining industry. P. 22–26. (In Russ.)

10. Gazaleeva G. I., Tsherbakova Z. H., Tchervyakov S. A., Ivanova S. P. Modern methods of ultrafine grinding and selective disclosure of minerals. In: *XV Anniversary Balkan Mineral Processing Congress. Bulgaria*; 2013. P. 123–127.

11. Blekhman I. I., Myshkis A. D., Panovko Ia. G. *Applied mathematics: subject, logic, and approaches details. Containing examples from mechanics*. Moscow: LENAND Publishing; 2018. (In Russ.)

12. Korchevskii A. N., Nazimko E. I., Serafimova L. I., Naumenko V. G. P*reparatory processes of beneficiation. Crushing, grinding, screening, and classification*. Donetsk: DonNTU Publishing; 2017. (In Russ.)

13. Bragin V. G., Volkov E. B., Kazakov Iu. M. *Theoretical mechanics*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2018. (In Russ.)

14. Iskenderov R., Lebedev A., Zacharin A., Lebedev P., Marjin N. Constructive and regime parameters of horizontal impact crusher of grain. In: *Earth and Environmental Science: materials IOP Conf. Series*. 2019; 403: 012057.

15. Thomasa T., Hendriks W., Poelb der Bvan. Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding. *Animal Feed Sci. and Tech*. 2018; 240: 11–21.

Received 25 June 2021

Information about authors:

Nikolai P. Kosarev – DSc (Engineering), Professor, Editor-in-chief of News of the Ural State Mining University. E-mail: iuggu-journal@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-5690-7654
Vladimir V. Zubov – PhD (Engineering), associate professor of Mining Machinery Operation Department, Ural State Mining University. E-mail: 2c1@unbox.ru; https://orcid.org/0000-0003-4862-523X
Valentin Ia. Potapov – DSc (Engineering), Professor, professor of Mechanical Engineering Department, Ural State Mining University. E-mail: valentin.potapov@m.ursmu.ru; https://orcid.org/0000-0002-0128-5859
Vladimir V. Potapov – PhD (Engineering), Associate Professor, associate professor of the Mining Department, Ural State Mining University. E-mail: vladimir.potapov@m.ursmu.ru

Для цитирования: Косарев Н. П., Зубов В. В., Потапов В. Я., Потапов В. В. Влияние силы Кориолиса на кинематику куска в рабочем пространстве измельчителя // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 6. С. 57–64. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-57-64
For citation: Kosarev N. P., Zubov V. V., Potapov V. Ia., Potapov V. V. Coriolis force impact on lump kinematics in a grinder workspace. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 6: 57–64 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-57-64