

УДК 621.926.323

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК, ОСНАЩЕННЫХ УПРУГИМИ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В СОЧЛЕНЕНИЯХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР

*Никитин А.Г.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор кафедры механики*

*и машиностроения (nikitin1601@yandex.ru)*

*Абрамов А.В.<sup>2</sup>, генеральный директор (alex.abram@mail.ru)*

*Баженов И.А.<sup>3</sup>, к.т.н., доцент кафедры маркетинга (mta@kpost.ru)*

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup> АНО «Центр поддержки и коммерциализации научно-технических проектов»

(654029, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, проезд Карбышева, 8)

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

**Аннотация.** Описана причина возникновения дополнительных динамических сил в процессе работы рычажного механизма привода качания щеки. Зазоры в шарнирах механизма привода снижают надежность работы щековых дробилок. Механизмы для выборки зазоров оснащены упругими пневматическими элементами. Эти пневматические элементы в течение всего цикла работы кривошипно-коромыслового механизма постоянно воздействуют на подвижный корпус с закрепленным на нем антифрикционный вкладышем. Механизмы для выборки зазоров обеспечивают выбор зазора в сочленениях кинематических пар, предотвращают появление дополнительных динамических нагрузок, снижают уровень вибрации механической системы. Экспериментально доказано, что при использовании таких механизмов повышается надежность работы щековых дробилок.

**Ключевые слова:** щековая дробилка, надежность, шарнир, зазор, пересопряжение поверхностей, дополнительные динамические силы.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2020-2-166-168

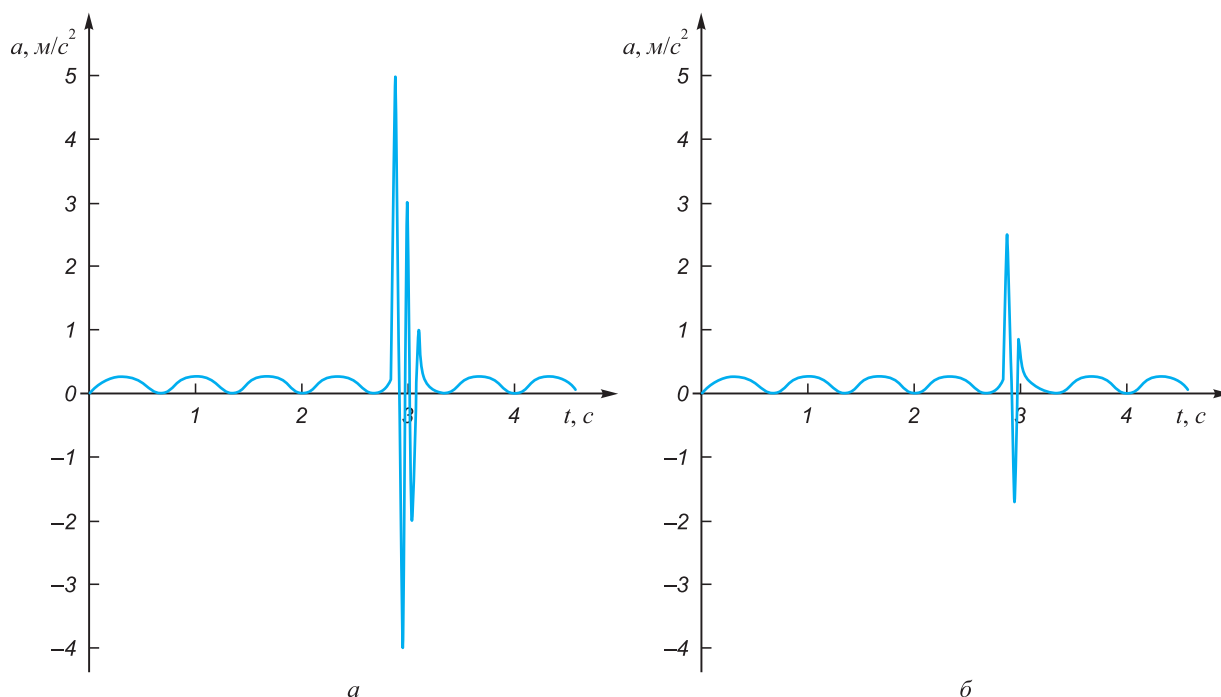
Одними из основных показателей качества дробилок, характеризующих их технический уровень и конкурентоспособность, являются надежность и долговечность в условиях эксплуатации, что количественно оценивается отсутствием отказов в процессе работы [1]. Очень часто причиной отказов в работе щековых дробилок, требующих остановки на ремонт, является износ вкладышей подшипников скольжения, которыми оборудованы шарниры кривошипно-коромыслового механизма качания щеки. Быстрый износ вкладышей является результатом не только контактного трения между цапфами и вкладышами, но и действия дополнительных динамических сил, возникающих из-за наличия зазора в кинематической паре сопряжения звеньев [2 – 4]. При этом в процессе работы рычажного механизма привода качания щеки происходит перебег зазора в шарнирах с последующими затухающими по силе за счет демпфирования отскоками. Вследствие воздействия дополнительных динамических сил значительно увеличивается вибрация всех элементов, из которых состоит механическая система дробилки, а также корпусных деталей.

Из выше изложенного следует, что надежность машины зависит, в том числе, и от обеспечения условий, при которых кинематические пары (шарниры) работают без раскрытия зазоров. Чаще всего эту проблему

решают путем использования конических сопряжений, которые требуют постоянного контроля и регулировки, или с помощью пружинных устройств для выборки зазоров в шарнирных соединениях, недостатком которых является низкая демпфирующая способность. Таким образом, для снижения величины дополнительных динамических сил следует использовать устройства для выборки зазоров в шарнирах, свободные от указанных недостатков. Исследования показали, что необходимого эффекта можно достичь путем применения упругих пневматических элементов, встраиваемых в кинематическую пару [5, 6].

Конструкция таких устройств для выборки зазоров представляет собой упругий пневматический элемент, установленный между корпусом подшипника скольжения, имеющим возможность перемещаться в радиальном направлении относительно цапфы шарнира, и непосредственно цапфой. При этом в процессе работы машины упругий пневматический элемент постоянно выбирает зазор в кинематической паре. Величина избыточного давления внутри упругого элемента задается такой величины, чтобы в процессе работы дробилки не происходило раскрытия зазора в сочленении [7].

Исследовали вибрации, возникающие при работе щековой дробилки, в случае, когда шарниры име-



Осциллограммы ускорений станины в горизонтальной плоскости:  
*a* – при наличии зазоров в опоре; *б* – при выбранных зазорах

Oscillograms of stand accelerations in horizontal plane:  
*a* – with backlashes in the support; *b* – with adjusted backlashes

ли зазоры в кинематических парах, и в случае, когда шарниры были оснащены упругими пневматическими устройствами для выборки зазоров. Уровень вибрации определяли акселерометрами, установленными на горизонтальной и вертикальной стойках станины дробилки.

В первом случае, при наличии зазоров в шарнирах, ускорения в горизонтальной плоскости (рисунок, *a*) составляют при холостых ходах  $0,4 - 0,5 \text{ м/с}^2$ , а под нагрузкой при дроблении образуются пики ускорений величиной до  $5 \text{ м/с}^2$ .

Если зазоры в опорах выбраны с помощью упругих пневматических устройств, то в горизонтальной плоскости при холостых ходах ускорения незначительно уменьшаются и составляют  $0,3 - 0,4 \text{ м/с}^2$ , а в процессе дробления и при сбросе нагрузки ускорения значительно меньше, чем при работе подшипников с зазорами и составляют  $2,0 - 2,5 \text{ м/с}^2$  (рисунок, *б*).

В вертикальной плоскости выборка зазоров практически не влияет на величину ускорений. Очевидно, что чем меньше величина ускорений, возникающих при работе щековой дробилки, тем меньше уровень вибрации машины и тем надежнее машина.

Следует отметить, что уменьшение (затухание) ускорений при наличии зазоров в подшипниках при сбросе нагрузки происходит за 3 – 4 периода колебаний, в то время как при использовании устройств для выборки зазоров затухание происходит практически сразу, что свидетельствует о высокой демпфирующей способности упругих пневматических элементов [8].

**Выводы.** Описана причина возникновения дополнительных динамических сил, вызывающих отказы в работе щековых дробилок из-за износа вкладышей подшипников скольжения. Описана конструкция устройства, позволяющего выбирать зазоры в шарнирах в процессе работы. Опытным путем установлено, что использование упругих пневматических устройств позволяет уменьшить вибрацию дробилки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платов С.И., Кандауров Л.Е., Железков О.С., Терентьев Д.В., Мироненков Е.И. Повышение надежности и долговечности деталей и узлов металлургического оборудования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 50 – 55.
2. Budd C., Dux F. The effect of frequency and clearance variations on single-degree-of-freedom impact oscillator // J. Sound and Vibrations. 1995. Vol. 184. No. 3. P. 475 – 502.
3. Hogan S. On the dynamics of rigid-block motion under harmonic forcing // Proc. Roy. Soc. London. 1989. Vol. 425A. No. 1869. P. 441 – 479.
4. Shaw S.W., Holmes P.J. A periodically forced impact oscillator with large dissipation // ASME, J. of Appl. Mech. 1983. Vol. 50. P. 849 – 857.
5. Пат. 174625 РФ. Щековая дробилка / А.Г. Никитин, К.А. Чайников, А.В. Абрамов; заявл. 27.01.2017; опубл. 24.10.2017. Открытия. Изобретения. Бюл. № 30.
6. Косарев О.И. Активное гашение вторичного поля цилиндрической оболочки в дальней зоне с использованием приложенных к оболочке вынуждающих сил // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 1. С. 10 – 17.

7. Никитин А.Г., Чайников К.А., Реморов В.Е., Живаго Э.Я. Расчет жесткости пневматического цилиндра с ограниченной осевой деформацией // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 68 – 70.
8. Efremov D.B., Gerasimova A.A., Gorbatyuk S.M., Chichenev N.A. Study of kinematics of elastic-plastic deformation for hollow steel

shapes used in energy absorption devices // CIS Iron and Steel Review. 2019. Vol. 18. P. 30 – 34.

Поступила в редакцию 24 декабря 2019 г.

После доработки 28 января 2020 г.

Принята к публикации 7 февраля 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. Vol. 63. No. 2, pp. 166–168.

## JAW CRUSHERS EQUIPPED WITH ELASTIC PNEUMATIC ELEMENTS IN JOINTS OF KINEMATIC PAIRS

*A.G. Nikitin*<sup>1</sup>, *A.V. Abramov*<sup>2</sup>, *I.A. Bazhenov*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

<sup>2</sup>ANCO “Center for Support and Commercialization of Scientific and Technical Projects”, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

<sup>3</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The article describes the reason of additional dynamic forces occurrence in course of operation of the lever mechanism of jaw swivel drive with gaps in hinges reducing reliability of jaw crushers operation. Gaps sampling mechanisms are equipped with elastic pneumatic elements. These pneumatic elements throughout the entire cycle of the crank-beam mechanism constantly act on the movable body with an anti-friction liner mounted on it. Mechanisms for gaps sampling provide a choice of the gap in the joints of kinematic pairs, prevent the appearance of additional dynamic loads, and reduce the level of vibration of the mechanical system. It has been experimentally established that usage of such mechanisms increases reliability of jaw crushers.

**Keywords:** jaw crusher, reliability, hinge, gap, surface interfacing, additional dynamic forces.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-2-166-168

### REFERENCES

1. Platov S.I., Kandaurov L.E., Zhelezkov O.S., Terent'ev D.V., Mironenkov E.I. Improvement of reliability and durability of parts for metallurgical equipment. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. 2009, no. 2 (26), pp. 50–55. (In Russ.).

2. Budd C., Dux F. The effect of frequency and clearance variations on single-degree-of-freedom impact oscillator. *J. Sound and Vibrations*. 1995, vol. 184, no. 3, pp. 475–502.
3. Hogan S. On the dynamics of rigid-block motion under harmonic forcing. *Proc. Roy. Soc. London*. 1989, vol. 425A, no. 1869, pp. 441–479.
4. Shaw S.W., Holmes P.J. A periodically forced impact oscillator with large dissipation. *ASME, J. of Appl. Mech.* 1983, vol. 50, pp. 849–857.
5. Nikitin A.G., Chainikov K.A., Abramov A.V. *Shchekovaya drobilka [Jaw crusher]*. Patent RF no. 174625. *Byulleten' izobretenii*. 2017, no. 30. (In Russ.).
6. Kosarev O.I. Active discharge of the secondary field of cylindrical shell in far field zone using driving forces applied to the shell. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*. 2013, no. 1, pp. 10–17. (In Russ.).
7. Nikitin A.G., Chainikov K.A., Remorov V.E., Zhivago E.Ya. Calculation of pneumatic cylinder rigidity with limited axial deformation. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2012, no. 4, pp. 68–70. (In Russ.).
8. Efremov D.B., Gerasimova A.A., Gorbatyuk S.M., Chichenev N.A. Study of kinematics of elastic-plastic deformation for hollow steel shapes used in energy absorption devices. *CIS Iron and Steel Review*. 2019, vol. 18, pp. 30–34.

### Information about the authors:

*A.G. Nikitin*, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Mechanics and Machine Engineering (nikitin1601@yandex.ru)

*A.V. Abramov*, General Director (alex.abram@mail.ru)

*I.A. Bazhenov*, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Marketing (mta@kpost.ru)

Received December 24, 2019

Revised January 28, 2020

Accepted February 7, 2020