

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 621.926.3
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-127-136



К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА

Калянов А.Е.¹, Чернухин С.А.¹, Великанов В.С.^{1,2}

¹ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. **Постановка задачи (актуальность работы).** В статье представлены результаты проведенного анализа причин простоев конусных дробилок мелкого дробления. На основе этих результатов выявлена основная причина – попадание недробимых предметов в камеру дробления. Исключение проблемы заклинивания дробилки в случае попадания недробимых предметов является одним из главных направлений в совершенствовании конусных дробилок. Решение предоставленной задачи даст возможность в значительной мере увеличить производительность машины за счет увеличения срока службы броней подвижного конусов и исключения остановки рабочего процесса дробления. **Цель работы.** В исследовании предпринимается попытка разработки конструктивных решений, позволяющих повысить производительность конусной дробилки за счет минимизации простоев. **Используемые методы.** Для достижения цели работы описана математическая модель траектории движения недробимого предмета по камере дробления конусной эксцентриковой дробилки мелкого дробления. **Новизна.** Исследована траектория движения недробимого предмета в камере дробления конусной дробилки мелкого дробления. Разработана методика, позволяющая установить рациональные параметры системы защиты узлов машины при попадании в рабочее пространство дробилки недробимого предмета. **Результат.** Представлен алгоритм построения модели траектории движения недробимого предмета в камере дробления конусной дробилки. Приведена принципиальная гидравлическая схема, которая дает возможность обеспечения защиты узлов конусной дробилки от негативных воздействий при попадании в рабочее пространство недробимого предмета, а также позволяет осуществить очистку камеры дробления от завала или недробимых предметов. **Практическая значимость.** Внедрение разработок, представленных в данной работе, позволит минимизировать простои конусной дробилки, увеличить срок службы оборудования, снизить стоимость содержания машины.

Ключевые слова: конусная дробилка, недробимый предмет, математическая модель, гидропривод, гидравлическая схема, алгоритм, повышение эффективности

© Калянов А.Е., Чернухин С.А., Великанов В.С., 2023

Для цитирования

Калянов А.Е., Чернухин С.А., Великанов В.С. К вопросу повышения эффективности работы конусной дробилки за счет применения объемного гидропривода // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №2. С. 127-136. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-127-136>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

INCREASING PERFORMANCE EFFICIENCY OF A CONE CRUSHER BY USING A FLUID POWER DRIVE

Kalyanov A.E.¹, Chernukhin S.A.¹, Velikanov V.S.^{1,2}

¹ Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

² Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The paper presents the analysis of the causes for downtime of cone fine crushers. The results revealed a main cause, namely uncrushable materials entering the crushing chamber. Avoiding a crusher jamming in case of too hard rock is one of the main areas of improving cone crushers. A solution to this problem will significantly increase the machine performance by increasing the service life of the armor of the movable and fixed cones and eliminating the shutdown of the crushing process. **Objectives.** The study attempts to develop design solutions to increase the cone crusher performance by minimizing downtime. **Methods Applied.** To achieve the objective of the study, we described a mathematical model of the motion trajectory of uncrushable materials along the crushing chamber of a cone eccentric fine crusher. **Originality.** The authors studied the motion trajectory of an uncrushable material in the crushing chamber of the cone fine crusher, and developed a technique to identify rational parameters of the crushing chamber protection system for uncrushable materials in the operating area of the crusher. **Result.** The paper presents an algorithm for designing a model of the motion trajectory of the uncrushable material in the crushing chamber of the cone crusher. A hydraulic circuit diagram was developed to protect the cone crusher units against the negative impact of uncrushable materials on the chamber and clean the crushing chamber from the overflow or uncrushable materials. **Practical Relevance.** By introducing the development presented in this paper we can minimize the downtime of the cone crusher, increase the service life of the equipment, and reduce the machine maintenance cost.

Keywords: cone crusher, uncrushable material, mathematical model, hydraulic drive, hydraulic circuit diagram, algorithm, improvement of efficiency

For citation

Kalyanov A.E., Chernukhin S.A., Velikanov V.S. Increasing Performance Efficiency of a Cone Crusher by Using a Fluid Power Drive. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 127-136. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-127-136>

Введение

Конусные дробилки нашли широкое применение в рудной и в меньшей степени нерудной промышленности. В основном применяются для получения щебня, подготовки сырья для цементных мельниц, искусственного песка, производства химического сырья. Конусные дробилки предназначены для крупного, среднего и мелкого дробления и имеют соответствующую классификацию: ККД – крупного дробления, КСД – среднего дробления, КМД – мелкого дробления, которые отличаются между собой узлами, образующими дробящее пространство.

В конусных дробилках дробление материала происходит в рабочем пространстве (далее – камера дробления), образованном между поверхностями наружного неподвижного и внутреннего подвижного конусов [1].

Разрушение материала осуществляется в камере дробления, образованной бронями дробящего конуса и неподвижной чаши. Материал разрушается в результате действия сжимающих,

изгибающих и истирающих нагрузок [2].

Для получения более однородного по крупности дробленого продукта время движения куска дробимого материала в параллельной зоне конусной дробилки должно быть не меньше времени одного оборота дробящего конуса. Если это условие выполняется, то каждый кусок дробимого материала будет зажат в параллельной зоне не менее одного раза.

Процесс дробления происходит непрерывно, при этом зона дробления перемещается последовательно по окружности конусов, что способствует более равномерной нагрузке механизма и двигателя дробилки. Размер наибольших кусков, которые могут быть загружены в дробилку, определяется шириной загрузочного отверстия [3].

Низкая степень дробления конусных дробилок объясняется использованием в качестве приводного элемента подвижного эксцентрикового конуса, который ограничивает амплитуду конструктивно заданным смещением своей оси относительно оси вращения. Поэтому слой материала не может быть деформирован на величину, боль-

шую величины установленного зазора между конусами, что обеспечивает низкую степень дробления. В дробилках с диаметром подвижного конуса 2200 мм толщина слоя материала в разгрузочной зоне не может быть менее 10 мм. Это объясняется тем, что брони неподвижного и подвижного конусов имеют эллиптичность и неконцентричность, которые после механической обработки не должны превышать соответственно 0,05 и 0,1% диаметра броней у основания [3, 4].

Материалы и методы исследования

Одной из наиболее важных задач улучшения конструкции конусных дробилок стало решение проблемы заклинивания дробилки в случае попадания недробимого предмета [3].

Наиболее широкое применение получили дробилки с гидравлическим регулированием разгрузочной щели. Это позволило упростить настройку размера продукта на выходе (фракции), а также использовать гидравлику в качестве предохранителя (компенсатора) от перегрузок, возникающих при попадании в камеру дробления недробимого предмета [3, 5].

По результатам анализа конусных дробилок по конструктивным схемам определены основные задачи – повышение производительности за счет увеличения срока службы броней подвижного и неподвижного конусов, исключение остановки рабочего процесса дробления при попадании в камеру дробления недробимого предмета.

При возникновении в пространстве дробления недробимого предмета, после сокращения расстояния между конусом и чашей до величины недробимого предмета конус через тело будет воздействовать на чашу, тем самым переместит чашу, опорное кольцо, а также связанные с ним элементы на некий угол. При последующем повороте втулки эксцентрика одновременно с отходом конуса от закрытого состояния произойдет опускание пружинами опорного кольца, броня чаши будет совершать движения, аналогичные движению броне конуса, и не позволит высвободить недробимый предмет из зажатого состояния.

В момент заклинивания между рабочими поверхностями дробилки недробимого предмета происходит его внедрение в броню чаши или конуса. При дальнейшем совершении рабочего хода подвижной части дробилки недробимый предмет будет постепенно разрушать броню чаши и конуса, что в дальнейшем приведет к полному износу брони и аварийной остановке дробилки.

Наличие недробимого материала в рабочем пространстве дробилки будет снижать ее производительность и ухудшать грансостав, так как в области заклинившего недробимого тела материал перестает дробиться [6].

Для снижения разрушающего эффекта броней от попадания недробимого материала в область дробления предлагается следующая методика. После отклонения конусом опорного кольца происходит фиксация в данном положении на заданный интервал времени. Чаша брони совместно с кольцом остается в отклоненном положении, такое расположение позволит недробимому предмету беспрепятственно высвободиться из области дробления в момент отхода конуса от чаши. При продвижении вниз по камере дробления разгрузочная щель становится меньше, таким образом, появляется вероятность повторного зажатия недробимого предмета и отклонение опорного кольца на больший угол. При возникновении повторного зажатия опорное кольцо повторно фиксируется.

На отечественных конусных дробилках среднего и мелкого дробления в качестве прижимных элементов наиболее широкое применение нашли пакеты пружин, фиксация которых затруднительна. Поэтому предлагается использовать гидроцилиндры вместе с гидропневмоаккумуляторами. В этом случае фиксация осуществляется системой управления, которая с помощью переключения гидрораспределителя в положение, запирающее полости гидроцилиндра, обеспечивает фиксацию опорного кольца в открытом положении на заданный промежуток времени.

С целью создания (написания) методики было проведено математическое моделирование рабочих процессов в конусной дробилке с учетом траектории движения недробимого материала по камере дробления. Смысл методики заключается в следующем.

За нейтральное положение принимается положение конуса в тот момент, когда ось конуса совпадает с осью дробилки.

Закрытым положением камеры дробления считается момент максимального приближения брони конуса к броне чаши.

При достижении наибольшего расстояния между броней конуса и броней чаши положение камеры дробления считается открытым.

В основе модели движения недробимого предмета лежит набор математических выражений и алгоритм их решения задач по определению траек-

тории движения недробимого предмета и положения элементов дробилки в любой момент времени.

Моделирование траектории движения недробимого предмета в рабочем пространстве дробилки даст возможность проведению исследований в целях определения параметров и разработки систем защиты.

За счет применения в конструкции дробилки

эксцентрикового конуса осуществляется колебание конуса по сферической опорной поверхности, имеющей радиус R , таким образом обеспечивается изменение объема камеры.

С целью отображения протекания рабочих процессов в конусной дробилке представлена расчетная схема, которую традиционно изображают разрезом в вертикальной плоскости (рис. 1) [6, 7].

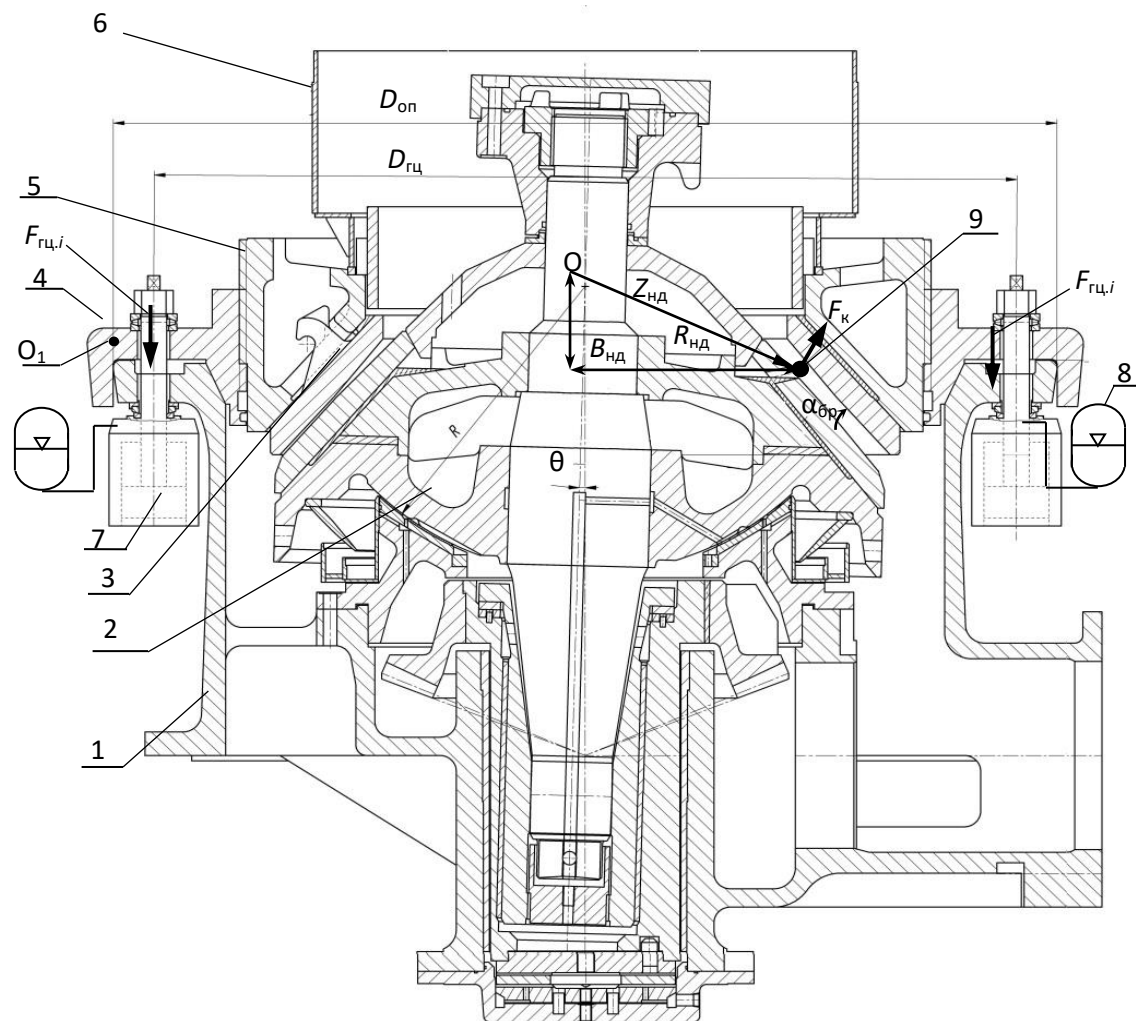


Рис. 1. Схема для расчета параметров: 1 – корпус дробилки; 2 – конус; 3 – броня чаши; 4 – кольцо опорное; 5 – кольцо регулирующее; 6 – загрузочная часть; 7 – гидроцилиндры; 8 – гидропневмоаккумуляторы; 9 – недробимое тело; $D_{оп}$ – диаметр опорного кольца; $D_{гц}$ – диаметр расположения штоков гидроцилиндров; $R_{нд}$ – радиус от точки подвеса до недробимого тела; O – условная точка подвеса (центр кривизны опорной поверхности конуса); O_1 – точка поворота кольца опорного; $F_{гц,i}$ – усилие на i -м штоке гидроцилиндра; F_k – усилие, передаваемое через недробимое тело от конуса на броню чаши; θ – угол нутации

Fig. 1. A schematic diagram for calculating the parameters: 1 is a crusher body; 2 is a cone; 3 is a bowl armor; 4 is a support ring; 5 is an adjusting ring; 6 is a charging unit; 7 are hydraulic cylinders; 8 are hydro-pneumatic accumulators; 9 is an uncrushable body; $D_{оп}$ is a diameter of the support ring; $D_{гц}$ is a diameter of the location of hydraulic cylinders rods; $R_{нд}$ is radius from the suspension point to the uncrushable body; O is a conditional point of suspension (center of curvature of the cone support surface); O_1 is a pivot point of the support ring; $F_{гц,i}$ is force at the i -th rod of the hydraulic cylinder; F_k is force transmitted through the uncrushable body from the cone to the bowl armor; θ is a nutation angle

Полученные результаты и их обсуждение

Для выявления самого эффективного и безопасного способа пропуска недробимого предмета напишем математическую модель траектории движения недробимого предмета по камере дробления и оценим взаимодействие узлов дробилки [8].

Траектория прохождения недробимого предмета с момента попадания в камеру дробления зависит от скорости:

$$v = \frac{dH}{dt}, \quad (1)$$

где H – путь с начала движения за время t , м.

В момент падения недробимого предмета расстояние до брони конуса устанавливается по координате y точки под недробимым предметом (рис. 2) [8, 9]. С целью выявления этой координаты в уравнение линии брони конуса требуется подставить координату x_k недробимого предмета.

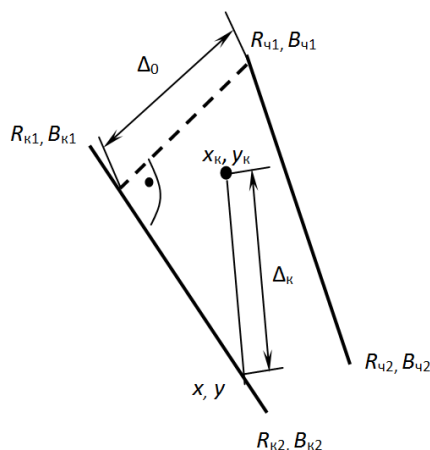


Рис. 2. Схема к расчету процесса падения недробимого предмета
Fig. 2. A schematic diagram for calculating the falling process of the uncrushable body

Уравнение линии брони конуса в зоне дробления [9]:

$$y_k = B_{к2} - \text{tg}\gamma_{к1} \cdot (R_{к2} - x_k), \quad (2)$$

где $B_{к2}$ – расстояние по вертикали от точки подвеса конуса до i -й точки брони конуса в процессе работы, м.

Расстояние от текущего положения недробимого предмета до брони:

$$\Delta_k = y_k - y. \quad (3)$$

Для нахождения момента встречи с броней требуется рассмотреть движение конуса.

Угол поворота эксцентрика конуса с начала движения

$$\Psi = \Psi_H + \int_0^T \omega \cdot dt, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения вала конуса, град; Ψ_H – угол поворота эксцентрика в начальном положении недробимого предмета, град.

Отклонение конуса от закрытого положения

$$\Theta_T = \Theta \cdot (1 - \cos \Psi). \quad (5)$$

Начальная составляющая скорости движения недробимого предмета по броне после завершения падения (рис. 3):

$$v_{бН} = \frac{v_{Г}}{\cos \beta} + v_{В} \cdot \sin \beta, \quad (6)$$

где $v_{Г}$ – горизонтальная составляющая скорости перед соприкосновением с броней; $v_{В}$ – вертикальная составляющая; β – угол наклона брони конуса к горизонту в зависимости от положения недробимого предмета, $\beta = \gamma_{к1} \pm \Theta_T$ или $\beta = \gamma_{к2} \pm \Theta_T$.

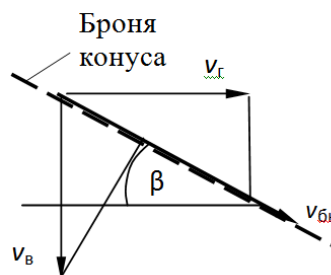


Рис. 3. Схема к определению скорости движения недробимого предмета по броне
Fig. 3. A schematic diagram for determining the velocity of the uncrushable body on the armor

Дальнейшее изменение скорости вдоль брони конуса определяется по уравнению движения:

$$F_{дв} - F_c = m \cdot \frac{dv_{б}}{dt}, \quad (7)$$

где m – масса недробимого предмета, кг; $\frac{dv_{б}}{dt}$ –

ускорение движения недробимого предмета вдоль брони, м/с²; $F_{дв}$ – движущее усилие, действующее на недробимый предмет при его движении по броне, Н (рис. 4),

$$F_{дв} = m \cdot g \cdot \sin \beta; \quad (8)$$

F_c – усилие сопротивления от трения при скольжении недробимого предмета, Н,

$$F_c = m \cdot g \cdot \cos \beta \cdot f_{тр}. \quad (9)$$

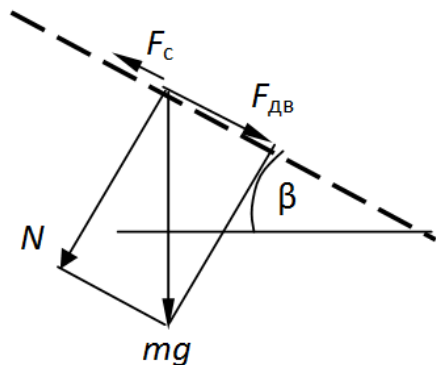


Рис. 4. Схема к определению сил, действующих на недробимый предмет

Fig. 4. A schematic diagram for determining the forces acting on the uncrushable body

Подставив выражения расчета усилий, получим:

$$g (\sin \beta - \cos \beta \cdot f_{тр}) = \frac{dv_6}{dt}. \quad (10)$$

При решении на ЭВМ выражение преобразуется в численный вид с использованием метода Эйлера:

$$v_6 = v_6 + g (\sin \beta - \cos \beta \cdot f_{тр}) \cdot \Delta t, \quad (11)$$

где Δt – шаг интегрирования.

Путь перемещения куска вдоль брони конуса определится при интегрировании скорости:

$$L_6 = \int v_6 \cdot dt. \quad (12)$$

При прохождении недробимого предмета вдоль брони следует определять момент его зажатия между броней конуса и чаши. Расчет необходимо осуществлять, когда расстояние между бронями Δ_r достигнет значения размера недробимого предмета d . Пока пространство между рабочими поверхностями больше размера недробимого предмета, он будет беспрепятственно перемещаться по броне.

Для нахождения расстояния между рабочими поверхностями требуются координаты недробимого предмета в рассматриваемый момент времени. Они также могут быть определены при численном интегрировании скорости движения недробимого предмета

вдоль брони с использованием его предыдущего положения по выражениям [8, 9]:

$$x_k = z_{k1} + (L_6 + v_6 \cdot \Delta t) \cdot \cos \beta; \quad (13)$$

$$y_k = z_{k1} + (L_6 + v_6 \cdot \Delta t) \cdot \sin \beta, \quad (14)$$

где z_{k1} – радиус-вектор от оси подвеса до начала брони конуса; L_6 – длина линии от начала брони конуса до предыдущего положения недробимого предмета, отстающего от рассматриваемого на шаг интегрирования Δt .

Падение и скольжение по броне недробимого предмета будет проходить до тех пор, пока расстояние между бронями Δ_r больше толщины тела $d_{пл}$. Расстояние между бронями определится при совместном решении уравнения перпендикуляра к броне конуса и уравнения линии брони чаши. В результате такого решения определятся координаты точки пересечения этих отрезков x_6, y_6 (рис. 5).

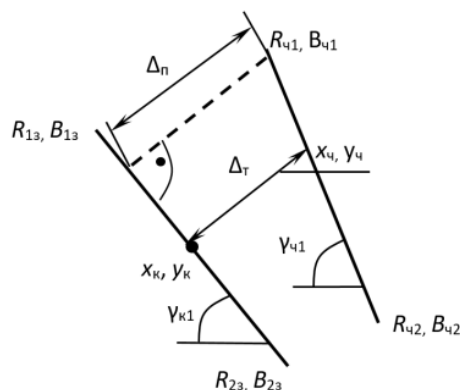


Рис. 5. Схема к определению расстояния между бронями

Fig. 5. A schematic diagram for determining the distance between armors

Уравнение отрезка брони чаши в зоне дробления:

$$y_ч = B_{ч2} - \text{tg} \gamma_{ч1} \cdot (R_{ч2} - x_ч). \quad (15)$$

Расстояние перемещения точек брони чаши при повороте опорного кольца на угол φ_i определяется как

$$\begin{aligned} L_{ч1ч1'} &= 2L_{O1ч1} \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right); \\ L_{ч2ч2'} &= 2L_{O1ч2} \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right); \\ L_{ч3ч3'} &= 2L_{O1ч3} \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right). \end{aligned} \quad (16)$$

Угол наклона к горизонту перемещения точек брони чаши при повороте опорного кольца на угол φ_i определяется как

$$\begin{aligned} \angle_{\text{ч}_1\text{ч}'_1x} &= \pi - 0,5(\pi - \varphi_i) - \angle_{\text{Оч}_1x} = \\ &= 0,5\pi + \varphi_i - \angle_{\text{Оч}_1x}; \\ \angle_{\text{ч}_2\text{ч}'_2x} &= 0,5\pi + \varphi_i - \angle_{\text{Оч}_2x}; \\ \angle_{\text{ч}_3\text{ч}'_3x} &= 0,5\pi + \varphi_i - \angle_{\text{Оч}_3x}. \end{aligned} \quad (17)$$

Координаты точек брони чаши после поворота опорного кольца на угол φ_i :

$$\begin{aligned} x_{\text{ч}'_1} &= x_{\text{ч}_1} + L_{\text{ч}_1\text{ч}'_1} \cdot \cos \angle_{\text{ч}_1\text{ч}'_1x}; \\ y_{\text{ч}'_1} &= y_{\text{ч}_1} - L_{\text{ч}_1\text{ч}'_1} \cdot \sin \angle_{\text{ч}_1\text{ч}'_1x}; \\ x_{\text{ч}'_2} &= x_{\text{ч}_2} + L_{\text{ч}_2\text{ч}'_2} \cdot \cos \angle_{\text{ч}_2\text{ч}'_2x}; \\ y_{\text{ч}'_2} &= y_{\text{ч}_2} - L_{\text{ч}_2\text{ч}'_2} \cdot \sin \angle_{\text{ч}_2\text{ч}'_2x}; \\ x_{\text{ч}'_3} &= x_{\text{ч}_3} + L_{\text{ч}_3\text{ч}'_3} \cdot \cos \angle_{\text{ч}_3\text{ч}'_3x}; \\ y_{\text{ч}'_3} &= y_{\text{ч}_3} - L_{\text{ч}_3\text{ч}'_3} \cdot \sin \angle_{\text{ч}_3\text{ч}'_3x}. \end{aligned} \quad (18)$$

Алгоритм, на основе которого разработана программа, написан по блочному принципу (рис. 6) [8]. Особыми процедурами оформлены этапы, составляющие процесс прохождения недробимого тела по камере дробления. Алгоритм состоит из представленных блоков:

- 1) колебательные движения конуса эксцентриковой втулкой;
- 2) падение недробимого предмета после входа в камеру дробления до встречи с броней конуса;
- 3) расчет расстояния между бронями в текущем положении недробимого предмета;
- 4) скольжение недробимого предмета по броне конуса;
- 5) зажатие между бронями конуса и чаши и подъем опорного кольца.

Завал рабочей камеры дробимым материалом может возникнуть при непредвиденной остановке дробилки под нагрузкой по причине попадания крупного недробимого материала, прекращения подачи электроэнергии или перегрузки по питанию.

С целью освобождения камеры дробления от завала и недробимых предметов разработана принципиальная гидравлическая схема (рис. 7) [10].

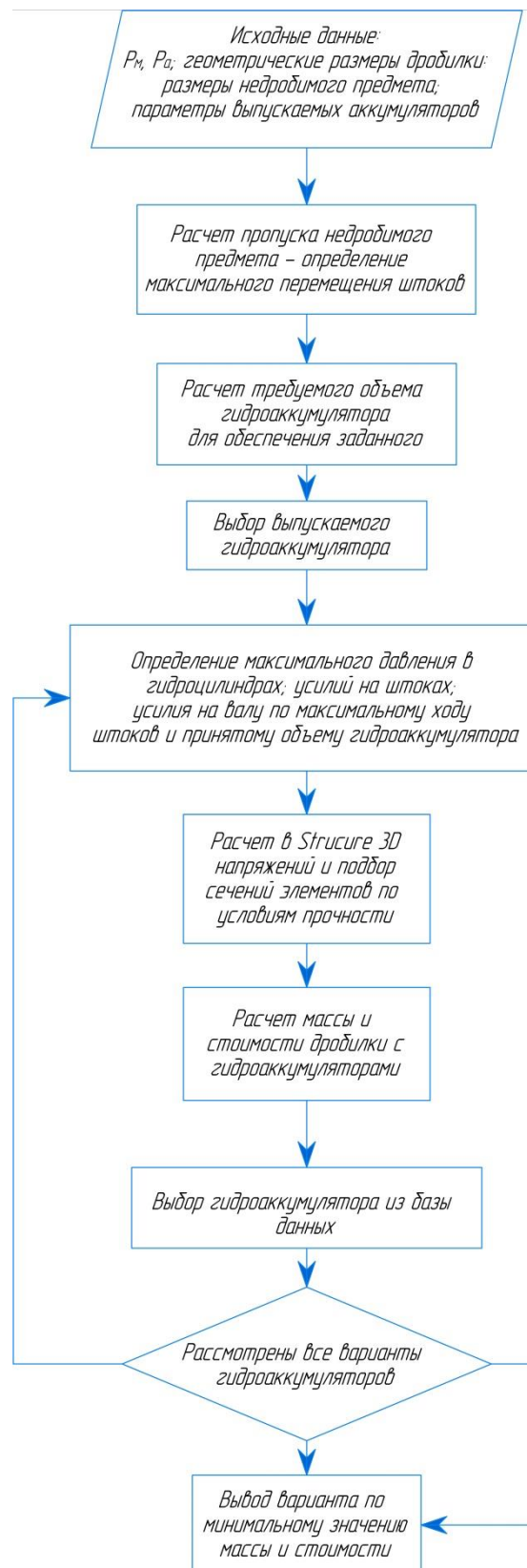


Рис. 6. Алгоритм модели движения недробимого предмета

Fig. 6. An algorithm of the uncrushable body motion model

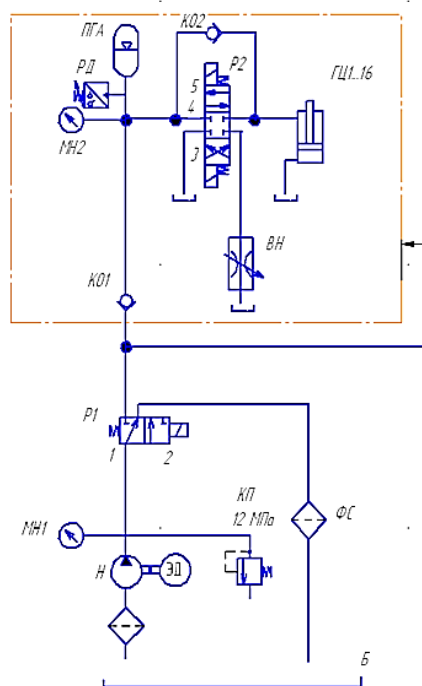


Рис. 7. Принципиальная гидравлическая схема системы прижатия
Fig. 7. A hydraulic circuit diagram of the clamping system

Последовательность работы предложенной гидросхемы [10] осуществляется следующим образом: требуется снять давление с гидроцилиндров прижатия дробильной чаши; направить поток рабочей жидкости в поршневую полость гидродомкратов разгрузки от недробимых предметов; поднять дробильную чашу на требуемую величину; после разгрузки камеры дробления вернуть дробильную чашу в рабочее положение за счет возврата давления в штоковой полости гидродомкратов; восстановить усилие прижатия чаши путем создания в штоковых полостях гидроцилиндров прижатия чаши рабочего давления.

Работоспособность представленной гидросхемы проверена в лаборатории гидропривода на испытательном стенде. Имитация рабочего процесса дробилки произведена за счет программируемого логического контроллера [10].

Заключение

В результате выполненных исследований была разработана математическая модель движения недробимого предмета по камере дробления дробилки мелкого дробления, а также предложена гидравлическая схема для автономной работы дробилки без постоянно включенного гидравлического насоса. Полученная математическая модель стала основой при разработке программы,

позволяющей создать имитацию нагрузки на коническую чашу и дробящий конус.

Практическим итогом на базе проведенных исследований стала разработка принципиальной гидравлической схемы многофункциональной гидропневматической системы защиты конусной дробилки мелкого дробления от отрицательного воздействия недробимого предмета на камеру дробления. Проведено обоснование рациональных конструктивных параметров конусной дробилки, в частности целесообразности применения конструкции многофункциональной гидропневматической системы защиты, позволяющей минимизировать деформацию рабочих поверхностей брони подвижно и неподвижно элементов дробилки от попадающих в камеру дробления недробимых предметов.

Список источников

1. Лагунова Ю.А., Фурин В.О., Федулов К.А. Конусные дробилки ПАО «Уралмашзавод» для конкретных условий эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2018. №1(135). С. 27-33. EDN YOWMDW.
2. Терехин Е.П., Тулинов Р.А. Модернизация футеровочных броней конусных дробилок мелкого дробления // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №2. С. 146-155. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-146-155. EDN YWGVYL.
3. Федорич А.Р., Четвериков Б.С., Любимый Н.С. Экспериментальное исследование управления размером выходной щели дробилками // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 года. Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2019. С. 553-557. EDN YWKKXQ.
4. Ибраева Н.Р., Мамонтова Д.А. Анализ эффективности применения дробильных установок в горнодобывающей промышленности // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIX международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 20-21 мая 2021 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. С. 169-171. EDN IKAZMH.
5. Абдраязков Е.Р., Нефедов А.В., Чиченев Н.А. Модернизация конусной дробилки КМД-2200 для автоматизированной регулировки выходной щели // Сталь. 2020. №2. С. 42-44. EDN WRJHNZ.

6. Implementing a discharge slot width control system in cone crushers / I.A. Grishin, V.S. Bochkov, V.S. Velikanov [et al.] // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2022, vol. 20, no. 2, pp. 13-22. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-2-13-22. EDN IAVOYW.
7. Моделирование процесса измельчения в конусном измельчителе / А.А. Артиков, Л.Х. Акабирова, Ф.Р. Камалова, Н.Х. Субханова // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 27-28 мая 2020 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 23-26. EDN OCTMYA.
8. Калянов А.Е., Лагунова Ю.А. Математическое моделирование элементов гидравлической схемы системы прижатия конусной дробилки // Горное оборудование и электромеханика. 2014. №2. С. 39-45.
9. Чиркин А.А., Кантемиров В.Д. Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. №7. С. 33-40. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40. EDN CDQOBU.
10. Патент на полезную модель RU 178026 U1. Конусная дробилка / Кожушко Г.Г., Калянов А.Е., Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С.; заявка 2016108382, 09.03.16, опубл. 21.03.2018. Бюл. 9. 4 с.
4. Ibraeva N.R., Mamontova D.A. Analysis of efficiency of crushing machines in the mining industry. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov XIX mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, provedennoy v ramkakh Uralskoy gornopromyshlennoy dekady* [Process equipment for mining and oil and gas industries: Proceedings of the 19th International Scientific and Technical Conference held as part of the Ural Mining Decade]. Yekaterinburg: Ural State Mining University, 2021, pp. 169-171. (In Russ.) EDN IKAZMH.
5. Abdrazyakov E.R., Nefedov A.V., Chichenev N.A. Modernizing cone crusher KMD-2200 to automatically adjust the discharge opening. *Stal* [Steel]. 2020;(2):42-44. (In Russ.) EDN WRJHNZ.
6. Grishin I.A., Bochkov V.S., Velikanov V.S. et al. Implementing a discharge slot width control system in cone crushers. Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2022;20(2):13-22. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-2-13-22. EDN IAVOYW.
7. Artikov A.A., Akabirova L.Kh., Kamalova F.R., Subkhanova N.Kh. Simulating a crushing process in a cone crusher. *Upravlenie kachestvom na etapakh zhiznennogo tsikla tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh sistem: sbornik nauchnykh trudov 2-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Quality management at life cycle stages of technical and technological systems: Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific and Technical Conference]. Kursk: Southwest State University, 2020, pp. 23-26. (In Russ.) EDN OCTMYA.
8. Kalyanov A.E., Lagunova Yu.A. A mathematical simulation of elements of a hydraulic circuit of the cone crusher clamping system. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics]. 2014;(2):39-45. (In Russ.)
9. Chirkin A.A., Kantemirov V.D. Providing a rationale for a design technique of movable crushing and transfer machines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gorny zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. 2020;(7):33-40. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40. EDN CDQOBU.
10. Kozhushko G.G., Kalyanov A.E., Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Shestakov V.S. *Konusnaya drobilka* [Cone crusher]. Utility model patent RU, no. 178026 U1, 2018.

References

1. Lagunova Y.A., Furin V.O., Fedulov K.A. Cone crushers of PJSC Uralsmashzavod for specific operating conditions. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics]. 2018;(1(135)):27-33. (In Russ.) EDN YOWMDW.
2. Terekhin E.P., Tulinov R.A. Modernization of lining armors of cone fine crushers. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2019;(2):146-155. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-146-155. EDN YWGVYL.
3. Fedorich A.R., Chetverikov B.S., Lyubimy N.S. Experimental study on controlling the size of the discharge opening of crushers. *Nadezhnost i dolgovechnost mashin i mekhanizmov: sbornik materialov X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Reliability and durability of machines and mechanisms: Proceedings of the 10th All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ivanovo: Ivanovo Fire and

Поступила 09.04.2023; принята к публикации 22.05.2023; опубликована 27.06.2023
Submitted 09/04/2023; revised 22/05/2023; published 27/06/23

Калянов Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент,
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.
Email: kalyanov.alexandr@yandex.ru. ORCID 0009-0008-6905-0416

Чернухин Станислав Алексеевич – кандидат технических наук, доцент,
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.
Email: Stas_chernuhin@mail.ru. ORCID 0000-0003-3423-6129

Великанов Владимир Семенович – доктор технических наук, профессор,
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия;
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия. Email: rzhik_00@mail.ru. ORCID 0000-0001-5581-2733

Aleksandr E. Kalyanov – PhD (Eng.), Associate Professor,
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.
Email: kalyanov.alexandr@yandex.ru. ORCID 0009-0008-6905-0416

Stanislav A. Chernukhin – PhD (Eng.), Associate Professor,
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.
Email: Stas_chernuhin@mail.ru. ORCID 0000-0003-3423-6129

Vladimir S. Velikanov – DrSc (Eng.), Professor,
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;
Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia.
Email: rzhik_00@mail.ru ORCID 0000-0001-5581-2733