

MATHEMATICAL MODELING OF THE MAIN TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE TWO-ROTOR SHOCK-CENTRIFUGAL DISINTEGRATOR ON THE BASIS OF CORRELATION ANALYSIS

¹*Nadutyi V.P., ¹Lohinova A.O., ¹Sukharev V.V.*

¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВОРОТОРНОГО УДАРНО-ВІДЦЕНТРОВОГО ДЕЗІНТЕГРАТОРА НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

¹*Надутьий В.П., ¹Логінова А.О., ¹Сухарєв В.В.*

¹*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДВУХРОТОРНОГО УДАРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДЕЗИНТЕГРАТОРА НА ОСНОВЕ КОРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

¹*Надутьий В.П., ¹Логінова А.А., ¹Сухарєв В.В.*

¹*Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України*

Annotation. The article technological disintegration indicators (productivity and power consumption) were determined and their generalized multiple regression variability depending on the regime and structural parameters of the shock-centrifugal disintegrator and the parameters of the output product were obtained. Economic and technological advantages of using the two-rotation kinematic scheme of a shock-centrifugal disintegrator, which implements the destruction of the material mainly by shock shifts due to the combined action of the kinetic energy of the interconnected flows, were justified. The research was carried out using such types of rocks: granite, tuff, limestone, basalt. As variable parameters (so-called indicated factors) were used the following: number of rotors x_1 — one or two rotors, the initial size of the material x_2 : $-10+7 \div -5+2.5$ mm, durability of the material x_3 : $35 \div 230$ kg/mm², number of revolutions of the shaft of the disintegrator x_4 : 2800 – 4760 rpm. The nature of the dependencies was determined by comparing the corresponding values of the reliability of different types of approximation. According to the gradation of the correlate on coefficients of the investigated indicated factors, the closest relationship is observed between the number of revolutions of the disintegrator shaft x_4 and power consumption. The increase in the number of revolutions of the disintegrator shaft in 1 % causes a power consumption increase in 1.37 %. The following factors in the tightness of connection are the initial material size x_2 , the growth of the initial material size by 1 % causes an increase of power consumption by 0.7 %; the strength of the material x_3 , the increase in the strength of the initial material by 1 % causes an increase of power consumption by 0.24 %; the number of rotors x_1 , increase in the number of rotors from 1 to 2 causes an increase of power consumption by 15 %. Thus, it is obvious that an increase in the number of rotors leads to a significant increase in the disintegration productivity with a minimum increase in power consumption. The given equations are the most representative and acceptable for disintegrators of the same size (or approximate ones), as the investigated laboratory stand. For disintegrators of other sizes, additional research is needed to specify the coefficients in the obtained equations.

Keywords: disintegrator, destruction, impact, shear, rock mass, correlation analysis.

Introduction. In [1,2], it was substantiated in detail that methods and means that implement mainly shear loads are the most energy-saving approach to the destruction of materials. It is impossible to realize the destruction by shear loads using a single-rotor kinematic circuit of a shock-centrifugal disintegrator (hereinafter SCD). Such a mechanism of destruction can be realized by changing the kinematic scheme from single-rotor to two-rotor [3].

Thus, new structural elements and their interaction make it possible to form a new zone of disintegration with the combined effect of shock compression and shear loads, as a result there is a product of a wide range of sizes with a slight increase of energy costs, that improves the technological and operational characteristics of the disintegrator [4].

Two-rotor SCD design [3, 5] has additional (identical to the first) acceleration rotors installed along the inner surface of the chamber of disintegration with the formation of a central gap and the possibility of rotation in one direction. The corresponding openings for loading the material are made above each of the rotors in the case cover. The boot device is multichannel and each of the channels is connected to the corresponding opening in the cover. The principle of operation of two-rotor SCD is shown on Figure 1.

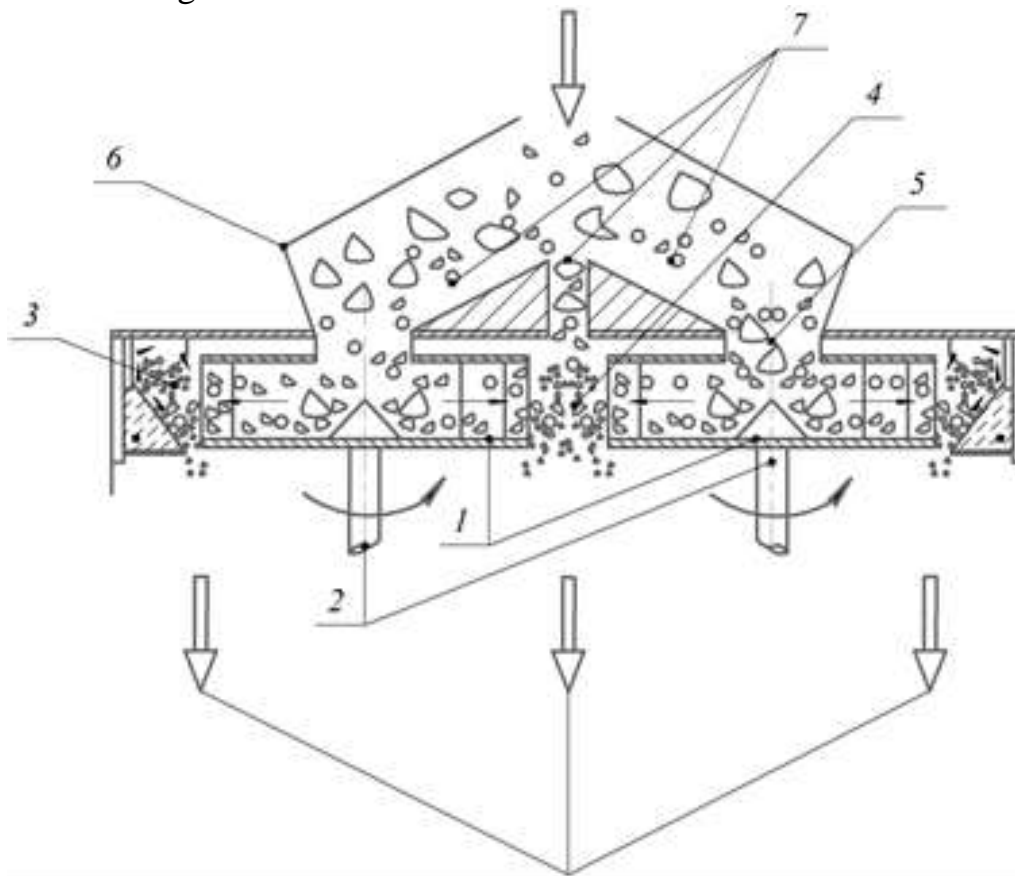


Figure 1 – Principle of operation of two-rotor SCD

In the process of developing a disintegrator, which uses a cumulative effect of the destruction of raw materials by the impact of shock compressive and shear loads, a patent of Ukraine was obtained (Fig. 2) [3, 5]. And also a laboratory test bench was created, which served as an experimental model of a shock-centrifugal disintegrator of two-rotor design.

The operation of proposed shock-centrifugal disintegrator is following (Fig.1). The material for disintegration is fed into a multichannel boot device (6), where each of the channels (7) is connected to the corresponding opening in the disintegrator cover.

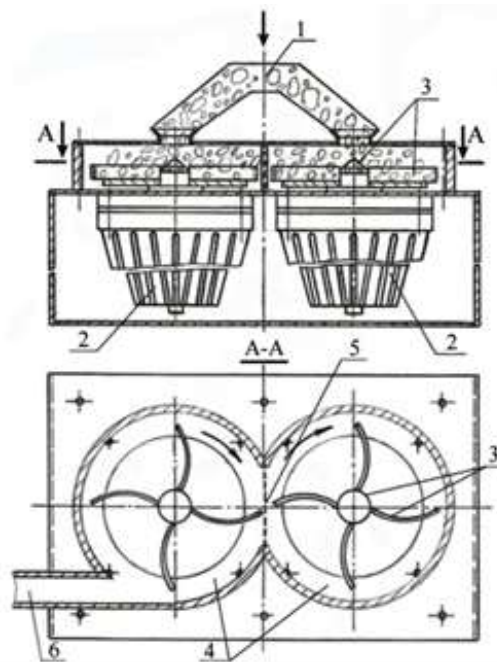


Figure 2 - Scheme of a laboratory stand of two-rotor shock-centrifugal disintegrator:
 1 – boot device; 2 – electric drive; 3 – acceleration rotor with shoulder blades;
 4 – working chamber; 5 – central disintegration zone; 6 – unloading opening

Through these openings, the material enters the acceleration rotors (1) mounted along the inner surface of the disintegration chamber (3) on one side rotating shafts (2) and directly into the central gap (4) formed in the space between the rotors (1). So, the central zone of disintegration is formed in the gap (4), and the peripheral zone is formed on the borehole plates (3).

Due to the combined effect of kinetic energy directed to the flow of grinded material, in the central zone of disintegration a complex process of particle destruction is realized. Shear loads make it possible to obtain a product of a wide range of grain, to manage the process of disintegration, and also to reduce the output of the oversize, which causes a significant increasing the efficiency of disintegration under the same energy costs.

Method of correlation analysis of technological disintegration indicators. To justify the kinematic scheme and to determine the technological parameters of disintegration in SCD, the method of correlation analysis [6] was used. The nature of each of the dependencies is obtained by comparing the corresponding values of the reliability of different types of approximation.

As variable parameters (so-called indicated factors) were used the following:

1. Number of rotors x_1 – one or two rotors.
2. The initial size of the material x_2 : $-10+7 \div -5+2.5$ mm.
3. Durability of the material x_3 : $35 \div 230$ kg/mm².
4. Number of revolutions of the shaft of the disintegrator x_4 : 2800 – 4760 rpm.

Results of research. According to the results of described in detail in [4] experimental data correlation analysis, the dependences (Table 1, Fig. 3, Fig. 4),

which determine the productivity Q and the power N spent on grinding in a shock-centrifugal disintegrator of all the indicated factors were obtained.

The evaluation of the significance of the equations using Fisher's statistics has shown that they are significant.

The average error of approximation in determining the power of SCD is 14.6 %, power consumption is 12.7 %, which indicates a satisfactory coincidence of theoretical and experimental values.

Table 1 – Multiple regressive dependencies

Multiple regression dependence	Determination coefficient
$Q = 188.3x_1x_2^{-0.75}x_3^{-0.6}x_4^{0.31}$	0.92
$N = 10^{-4}x_1^{0.15}x_2^{0.7}x_3^{0.24}x_4^{1.37}$	0.96

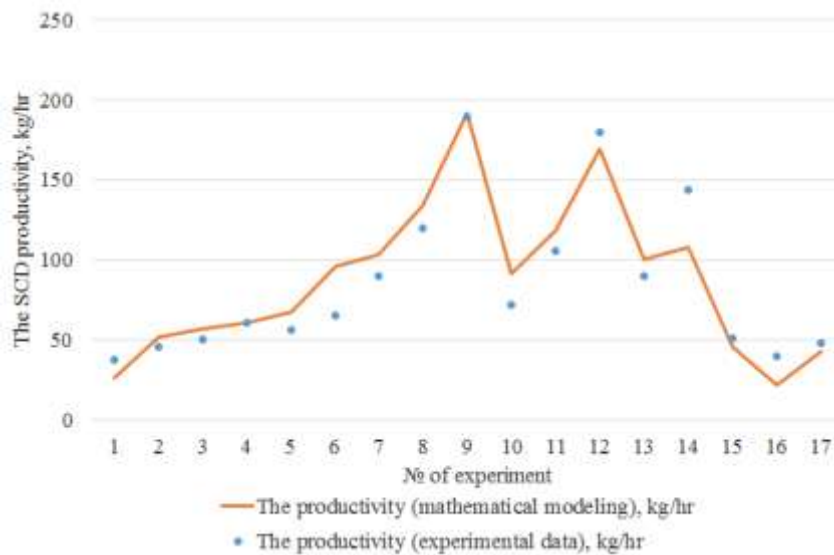


Figure 3 – Graph of multiple 4-factor regression equation for determining SCD productivity

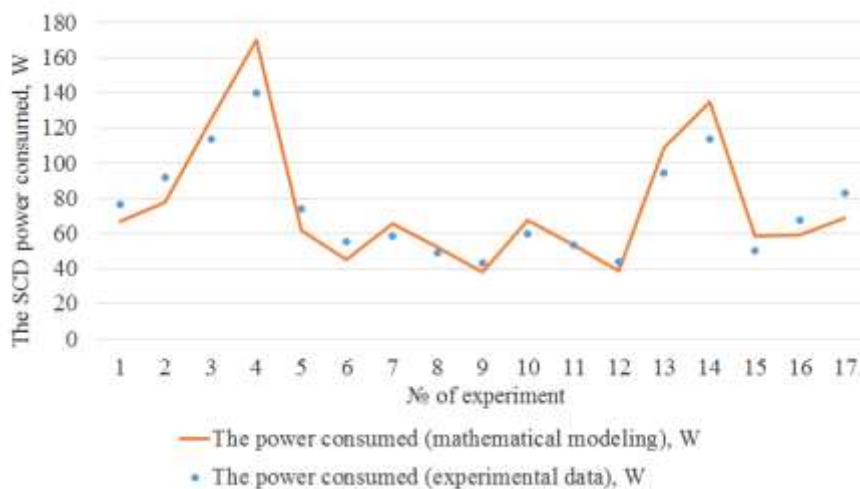


Figure 4 – Graph of multiple 4-factor equation of regression to determine the power consumed on disintegration of raw materials in SCD

The productivity and power consumption of SCDs have a multiple regression dependance from the number of rotors, the speed of the shaft, the size and strength of the source material. Two-rotation kinematic CD scheme, which implements the destruction of the material mainly by shear loads, compared to single-rotor, increases productivity of disintegration in 2 times with an increase in power consumption – 15 %.

To determine intermediate regression equations with several indicated factors in the multiple regression equation (Table 1), instead of unclaimed factor characteristics it is necessary to put their mean values equal to: $\bar{x}_1 = 2$; $\bar{x}_2 = 7$; $\bar{x}_3 = 87$; $\bar{x}_4 = 3146$.

The corresponding factors for the pure regression equation are presented below (Table 2 and Table 4).

Table 2 - The pure regression equations for determining the productivity of SCD

A pure regression equation	Approximation accuracy
$Q(x_1) = 36.4x_1$	$\varepsilon = 8\%$
$Q(x_2) = 283.1x_2^{-0.75}$	$\varepsilon = 14.9\%$
$Q(x_3) = 972.5x_3^{-0.6}$	$\varepsilon = 6.8\%$
$Q(x_4) = 5.36x_4^{0.31}$	$\varepsilon = 14.9\%$

The pair coefficients of correlation of investigated indicated factors and productivity y of SCD are given in Table 3.

Table 3 - The pair coefficients of correlation of investigated indicated factors and productivity y of SCD

r_{x_1y}	r_{x_2y}	r_{x_3y}	r_{x_4y}	$r_{x_1x_2}$
0.52	-0.46	-0.77	0.12	-0.20
$r_{x_1x_3}$	$r_{x_1x_4}$	$r_{x_2x_3}$	$r_{x_2x_4}$	$r_{x_3x_4}$
-0.28	0.24	0.01	0.43	-0.02

Table 4 - The pure regression equations for determining the power consumption of SCD

A pure regression equation	Approximation accuracy
$N(x_1) = 71.16x_1^{0.15}$	$\varepsilon = 12.9\%$
$N(x_2) = 20.25x_2^{0.7}$	$\varepsilon = 6.3\%$
$N(x_3) = 26.92x_3^{0.24}$	$\varepsilon = 14.9\%$
$N(x_4) = 0.001x_4^{1.37}$	$\varepsilon = 14.8\%$

The pair coefficients of correlation of investigated indicated factors and productivity y of SCD are given in Table 5.

Table 5 - The pair coefficients of correlation of investigated indicated factors and productivity y of SCD

r_{x_1y}	r_{x_2y}	r_{x_3y}	r_{x_4y}	$r_{x_1x_2}$
0.16	0.61	0.29	0.83	-0.20
$r_{x_1x_3}$	$r_{x_1x_4}$	$r_{x_2x_3}$	$r_{x_2x_4}$	$r_{x_3x_4}$
-0.28	0.24	0.01	0.43	-0.02

Conclusions.

1. According to the gradation of the correlation coefficients of the investigated indicated factors, the closest relationship is observed between the productivity and the number of rotors x_1 . The increase in the number of rotors from 1 to 2 causes a productivity increase of 2 times. The following factors in the tightness of connection are the initial material size x_2 , the growth of the initial material size by 1 % causes a drop in productivity by 0.75 %; the strength of the material x_3 , the increase in the strength of the initial material by 1 % causes a decrease in productivity by 0.6 %; the number of revolutions of the disintegrator shaft x_4 , the increase in the number of revolutions of the shaft by 1 % causes an increase in productivity by 0.31 %.

2. According to the gradation of the correlation coefficients of the investigated indicated factors, the closest relationship is observed between the number of revolutions of the disintegrator shaft x_4 and power consumption. The increase in the number of revolutions of the disintegrator shaft in 1 % causes a power consumption increase in 1.37 %. The following factors in the tightness of connection are the initial material size x_2 , the growth of the initial material size by 1 % causes an increase of power consumption by 0.7 %; the strength of the material x_3 , the increase in the strength of the initial material by 1 % causes an increase of power consumption by 0.24 %; the number of rotors x_1 , increase in the number of rotors from 1 to 2 causes an increase of power consumption by 15 %.

3. Thus, it is obvious that an increase in the number of rotors leads to a significant increase in the disintegration productivity with a minimum increase in power consumption.

4. The given equations are the most representative and acceptable for disintegrators of the same size (or approximate ones), as the investigated laboratory stand. For disintegrators of other sizes, additional research is needed to specify the coefficients in the obtained equations.

REFERENCES

1. Dyrda V.I. and Loginova A.A. (2015), « Some problems of energy-saving at destruction of mineral raw material in shock-centrifugal crushers», *Geo-Technical Mechanics*, no. 121, pp. 121-125.
2. Matsyuk I.N., Shlyahov E.M., and Yehurnov O.I. (2018), "Some aspects of synthesis of linkage of complex structures", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Himychoho Universytetu*, no. 3, pp. 57-63.
3. Naduty V.P., Ziborov K.A., Loginova A.A.; zayavnyk i patentovlasnyk IHTM NAN Ukrayiny.(2017, *Udamo-vidtsentrovyyi desintegrator* [Shock-centrifugal disintegrator], Kyiv, UA, Pat. № 116387
4. Naduty V.P., Suharyev V.V. and Loginova A.A. (2016), "Efficiency of the use of shock-centrifugal disintegrator realizing a shift deformations at destruction of mine mass", *Geo-Technical Mechanics*, no. 131, pp. 26-32
5. V.P. Naduty, V.V. Sukharyev, A.A. Loginova; zayavnyk i patentovlasnyk IHTM NAN Ukrayiny (2017), *Udamo-vidtsentrovyyi desintegrator* [Shock-centrifugal disintegrator], Kyiv, UA, Pat. № 119892 UA
6. Carlberg K.(2017), *Regression analysis in Microsoft Exce*, Dialectic-Williams.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дырда В.И. Логинова А.А. Некоторые проблемы энергосбережения при разрушении минерального сырья в ударно-центробежных дробилках // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. Днепропетровск / ИГТМ НАН Украины. 2015. Вып.121. С. 121-125.
2. Matsyuk I.N., Shlyahov E.M., Yehurnov O.I. Some aspects of synthesis of linkage of complex structures, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. № 3. С. 57–63.
3. Надутый В.П. Зіборов К.А., Логінова А.О. Ударно-відцентровий дезінтегратор. Патент на винахід №116387, Україна, В 02 С 13/14 від 21.06.2016. Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
4. Надутый В.П., Логинова А.А., Сухарев В.В. Эффективность использования ударно-центробежного дезинтегратора, реализующего сдвиговые деформации при разрушении горной массы // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2016. Вып. 131. С. 26-32.
5. Надутый В.П., Логінова А.О., Сухарев В.В. Ударно-відцентровий дезінтегратор. Патент України на корисну модель № 119892, В 02 С 13/14 від 10.05.2017, Опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.
6. Carlberg K.. Regression analysis in Microsoft Excel. Dialectic-Williams, 2017).

About the authors

Nadutyi Volodymyr Petrovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department of Mechanics of Machines and Processes of Mineral Processes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, nadutyvp@gmail.com

Lohinova Anastasiia Oleksandrivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Researcher of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, logan.anlim@gmail.com

Sukhariev Vitalii Vitaliiovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, agnivik@ukr.net

Про авторів

Надутьий Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, nadutyvp@gmail.com

Логінова Анастасія Олександрівна, кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, logan.anlim@gmail.com

Сухарев Віталій Віталійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, agnivik@ukr.net

Анотація. У статті визначено технологічні показники дезінтеграції (продуктивність і енергоспоживання) і отримана їх узагальнена множинна регресійна мінливість в залежності від режиму і структурних параметрів ударно-відцентрового дезінтегратора і параметрів вихідного продукту. Обґрунтовано економічні та технологічні переваги використання двухвращательной кінематичної схеми ударно-відцентрового дезінтегратора, що реалізує руйнування матеріалу переважно ударними зрушеннями за рахунок спільної дії кінетичної енергії взаємопов'язаних потоків. Дослідження проводилися з використанням таких типів порід: граніт, туф, вапняк, базальт. В якості змінюваних параметрів (т.зв. факторних ознак) використовувалися: кількість роторів (x_1) – один і два ротори, початкова крупність матеріалу (x_2) – $-10+7 \div -5+2,5$ мм, міцність матеріалу (x_3) – $35 \div 230$ кг/мм², кількість обертів вала дезінтегратора (x_4) – $2800 \div 4760$ об/хв. Характер залежностей визначали шляхом порівняння відповідних значень достовірності різних типів апроксимації. Згідно з градацією коефіцієнтів кореляції досліджуваних факторних ознак найбільш тісний зв'язок спостерігається між кількістю обертів вала дезінтегратора (x_4) і споживаною потужністю, зростання кількості обертів вала на 1% викликає зростання споживаної потужності на 1,37%; наступними факторами по тісноті зв'язку є початкова крупність матеріалу (x_2), зростання початкової крупності матеріалу на 1% викликає зростання споживаної потужності на 0,7%; потім – міцність матеріалу (x_3), зростання міцності початкового матеріалу на 1% викликає зростання споживаної потужності на 0,24%; та кількість роторів (x_1), зростання кількості роторів від 1 до 2 викликає зростання споживаної потужності на 15%. Таким чином, очевидно, що збільшення кількості роторів призводить до значного збільшення продуктивності дезінтеграції при мінімальному прирості споживаної потужності. Наведені рівняння найбільш репрезентативні і прийнятні для дезінтеграторів таких же розмірів (або наближених), як і досліджуваний лабораторний стенд. Для дезінтеграторів інших розмірів необхідно проводити додаткові дослідження для уточнення коефіцієнтів в отриманих рівняннях

Ключові слова: дезінтегратор, руйнування, удар, зсув, гірська маса, кореляційний аналіз.

Аннотация. В статье определены технологические показатели дезинтеграции (производительность и энергопотребление) и получена их обобщенная множественная регрессионная изменчивость в зависимости от режима и структурных параметров ударно-центробежного дезинтегратора и параметров выходного продукта. Обоснованы экономические и технологические преимущества использования двухвращательной кинематической схемы ударно-центробежного дезинтегратора, реализующей разрушение материала преимущественно ударными сдвигами за счет совместного действия кинетической энергии взаимосвязанных потоков. Исследования проводились с использованием таких типов пород: гранит, туф, известняк, базальт. В качестве изменяемых параметров (т.н. факторных признаков) использовались: количество роторов (x_1) - один и два ротора, начальная крупность материала (x_2) – $-10 + 7 \div -5 + 2,5$ мм, прочность материала (x_3) – $35 \div 230$ кг/мм², количество оборотов вала дезинтегратора (x_4) – $2800 \div 4760$ об/мин. Характер зависимостей определяли путем сравнения соответствующих значений достоверности различных типов аппроксимации. Согласно градации коэффициентов корреляции исследуемых факторных признаков наиболее тесная связь наблюдается между количеством оборотов вала дезинтегратора (x_4) и потребляемой мощностью, рост числа оборотов вала на 1% вызывает рост потребляемой мощности на 1,37%; следующим фактором по тесноте связи является начальная крупность материала (x_2), рост начальной крупности материала на 1% вызывает рост потребляемой мощности на 0,7%; затем прочность материала (x_3), рост прочности исходного материала на 1% вызывает рост потребляемой мощности на 0,24%; и количество роторов (x_1), рост количества роторов от 1 до 2 вызывает рост потребляемой мощности на 15%. Таким образом, очевидно, что увеличение количества роторов приводит к значительному увеличению производительности дезинтеграции при минимальном приросте потребляемой мощности. Приведенные уравнения наиболее репрезентативные и приемлемые для дезинтеграторов таких же размеров (или приближенных), как и исследуемый лабораторный стенд. Для дезинтеграторов других размеров необходимо проводить дополнительные исследования для уточнения коэффициентов в полученных уравнениях.

Ключевые слова: дезинтегратор, разрушение, удар, сдвиг, горная масса, производительность.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2019

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Б.О. Блюссом