

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДАРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДЕЗИНТЕГРАТОРА

¹Надутый В.П., ²Джамиль Хаддад, ¹Сухарев В.В., ¹Логина А.А.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Прикладной университет Аль-Балка, г. Амман, Иордания

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДАРНО-ВІДЦЕНТРОВОГО ДЕЗИНТЕГРАТОРА

¹Надутый В.П., ²Джаміль Хаддад, ¹Сухарєв В.В., ¹Логінова А.О.

¹Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Прикладний університет Аль-Балка, м. Амман, Йорданія

INVESTIGATION RESULTS OF SHOCK-CENTRIFUGAL DISINTEGRATOR PERFORMANCE

¹Nadutyi V.P., ²Jamil Haddad, ¹Sukhariev V.V., ¹Loginova A.A.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine, ²Al-Balqa Applied University, Amman, Jordan

Аннотация. Ударно-центробежный тип измельчительного оборудования широко используется в горно-обогатительной, металлургической и строительной отраслях. В данной работе представлен корреляционно-регрессионный анализ влияния параметров ударно-центробежного дезинтегратора (УЦД) и характеристик измельчаемой горной массы на его производительность. Для аппроксимации экспериментальных данных использовался метод наименьших квадратов, в котором результативным признаком являлась производительность УЦД, а факторными признаками количество роторов, крупность исходного материала, прочность исходного материала, частота вращения вала роторов. В результате анализа, основанного на экспериментальных данных, построено уравнение множественной регрессии, которое определяет производительность УЦД от совокупного изменения всех факторных характеристик, а также уравнения чистой регрессии, определяющие изменение производительности УЦД от каждого фактора по отдельности, что позволило установить степень эффективности применения данной конструкции двухвального УЦД. Согласно градации коэффициентов полученной регрессии, возрастание количества роторов от 1 до 2 вызывает рост производительности в 2 раза (100 %); возрастание крупности исходного материала на 1 % вызывает падение производительности на 0,75 %; возрастание прочности исходного материала на 1 % вызывает снижение производительности на 0,6 %; возрастание количества оборотов вала на 1 % вызывает рост производительности на 0,31 %. Исходя из полученных коэффициентов парной корреляции, наиболее тесная связь параметров наблюдается между производительностью УЦД и количеством роторов, следующими факторами по тесноте связи являются прочность исходного материала, частота вращения вала ротора и крупность исходного материала соответственно. Использование новой двух роторной кинематической схемы УЦД в сравнении с однороторной УЦД позволяет увеличить производительность УЦД в 2 раза, это достигается формированием новой зоны дезинтеграции, где разрушение материала происходит преимущественно сдвиговыми нагрузками.

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

Введение. Ударно-центробежный тип измельчительного оборудования широко используется в горно-обогатительной, металлургической и строительной отраслях. Необходимость исследования процесса эксплуатации ударно-центробежных дезинтеграторов (УЦД) обусловлена тем, что использование центробежных дезинтеграторов является перспективным направлением при переработке и подготовке к обогащению горной массы.

При поиске авторами статьи новых конструктивных решений по повышению эффективности работы УЦД была разработана новая конструкция двухвального

центробежного ударного дезинтегратора, позволившая добиться увеличения скорости удара куска материала и использования разрушения материала сдвигом, без увеличения оборотов ротора [1,2].

В предыдущей публикации по данному направлению исследований авторами статьи представлены результаты и информация об условиях эксперимента, параметрах и конструкции испытательного стенда, который представляет собой УЦД в двухкамерном исполнении, где валы роторов разнесены в отдельные камеры, что увеличивает скорость удара измельчаемого материала за счет соударения встречных потоков и снижает напряженное состояние камеры и ротора с ударниками [3]. При проведении экспериментов измельчению подвергались всевозможные типы материалов различной прочности, крупности, менялись обороты роторов, измерялось время, затраченное на измельчение, что позволило установить производительность двухвального УЦД. Также в данной публикации сделаны предварительные выводы о целесообразности применения данной конструкции двухвального УЦД.

В тоже время в публикации [3] представлены только экспериментальные данные, хотя и отображенные в виде графических зависимостей, но они не позволяют выполнять математическое определение параметров и моделирование процессов разрушения, в частности для двухвального УЦД, что является актуальной научной задачей [4-7].

Поэтому **целью работы** является выполнение корреляционно-регрессионного анализа для определения влияния параметров ударно-центробежных дезинтеграторов, а также характеристик горной массы на его производительность, что позволит установить степень эффективности применения данной конструкции.

Методика исследования.

Для аппроксимации экспериментальных данных использовался известный метод наименьших квадратов [8]. Поэтому для анализа данных были приняты следующие обозначения:

1. Результативный признак – производительность (Q);
2. Факторные признаки:
 - 2.1 количество роторов (x_1);
 - 2.2 крупность исходного материала (x_2);
 - 2.3 прочность исходного материала (x_3);
 - 2.3 частота вращения вала ротора (x_4).

Решение об определении вида модели принималось путем сравнения соответствующих величин достоверности различных видов аппроксимирующей функции, а именно, линейной, логарифмической, полиномиальной, экспоненциальной, степенной. Сравнение коэффициентов множественной детерминации показало, что наиболее точной является степенная модель. Таким образом, для определения расчётных значений производительности и потребляемой мощности УЦД применялась степенная модель, как наиболее точная.

В результате корреляционно-регрессионного анализа с использованием метода наименьших квадратов получено степенное уравнение множественной регрессии, определяющее изменение производительности УЦД, оно имеет вид:

$$Q = 188,3x_1x_2^{-0,75}x_3^{-0,6}x_4^{0,31} \quad (1)$$

Особенностью степенной функции является то, что в данном случае коэффициенты эластичности равны коэффициентам регрессии.

Таким образом, согласно градации коэффициентов регрессии, возрастание количества роторов от 1 до 2 вызывает рост производительности в 2 раза (100 %); возрастание крупности исходного материала на 1 % вызывает падение производительности на 0,75 %; возрастание прочности исходного материала на 1 % вызывает снижение производительности на 0,6 %; возрастание количества оборотов вала на 1 % вызывает рост производительности на 0,31 %. Ошибка аппроксимации уравнения составила 14,6 %, что является допустимой величиной.

Оценка значимости полученного уравнения с использованием статистического критерия распределения Фишера показала, что оно значимо. Множественный коэффициент детерминации составляет $R^2=0,92$. Таким образом, выбранные для эксперимента факторные признаки объясняют 92 % вариации результативного признака Q . Средняя ошибка аппроксимации составляет 15 %, это указывает об удовлетворительном совпадении теоретических и экспериментальных значений.

Результаты исследований.

Для того чтобы выполнить наглядное сравнение экспериментальных и теоретических данных, а также определить влияние каждого факторного признака в отдельности при фиксированных значениях других факторов рассчитываем уравнения чистой регрессии. Уравнение чистой регрессии по первому факторному признаку – количество роторов (x_1), будет иметь вид

$$Q(x_1) = 31,7x_1 \quad (2)$$

Приведенное уравнение (2) является уравнением чистой регрессии по первому факторному признаку (количество роторов, x_1), остальные факторные признаки учтены здесь в виде их математического ожидания и соответствующих коэффициентов регрессии.

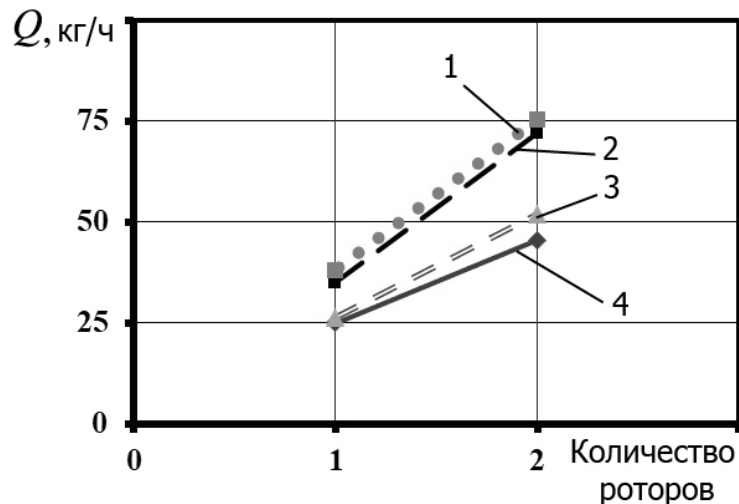
Далее для того, чтоб сравнить полученное уравнение с экспериментальными данными, а именно с данными полученными при измельчении гранита и известняка, вместо математического ожидания по 3-ему факторному признаку – 87 кг/мм^2 (прочность материала, x_3) использовались фактические значения прочности гранита и известняка равные 110 и 43 кг/мм^2 соответственно.

Таким образом, для конкретных материалов из уравнения (2) были получены следующие уравнения чистой регрессии:

Гранит $Q(x_1) = 26,2x_1$

Известняк $Q(x_1) = 38,1x_1$

В соответствии с приведенными уравнениями были построены графики, позволяющие сравнить данные, полученные экспериментально и данные полученные с помощью математического моделирования (рис. 1).



1- известняк (экспериментальные значения); 2 – известняк (модельные значения); 3 – гранит (экспериментальные значения); 4 – гранит (модельные значения)

Рисунок 1 - Зависимость производительности УЦД от количества роторов, для гранита и известняка при крупности материала -10+7 и оборотах вала УЦД 2800 об/мин

Парный коэффициент корреляции первого факторного признака (количество роторов) и результативного признака (производительность дезинтегратора) $r_{x_1Q} = 0,97$, что говорит об их сильной связи.

Поскольку выполненный корреляционный анализ подтверждает полученные экспериментальные результаты, то можно утверждать, что использование двухроторной кинематической схемы УЦД для измельчения различных видов материалов в сравнении с однороторной конструкцией позволяет увеличить производительность двухроторной УЦД практически в 2 раза.

Уравнение чистой регрессии по второму факторному признаку – крупности исходного материала (x_2), будет иметь вид

$$Q(x_2) = 283,1x_2^{-0,75} \quad (3)$$

Уравнение (3) является уравнением чистой регрессии по второму факторному признаку (крупность исходного материала, x_2), остальные факторные признаки учтены здесь в виде их математического ожидания и соответствующих коэффициентов регрессии. Для того, чтоб сравнить полученное уравнение с экспериментальными данными, а именно с данными полученными при измельчении гранита и известняка, вместо математического

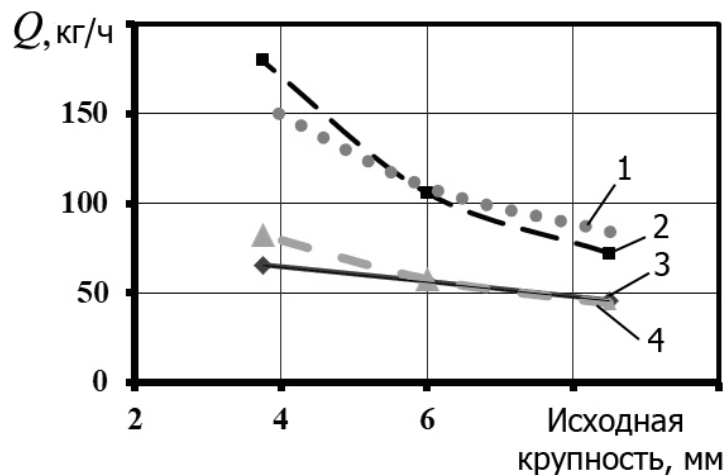
ожидания по 3-ему факторному признаку – 87 кг/мм² (прочность материала, x_3) использовались фактические значения прочности гранита и равные 110 и 43 кг/мм² соответственно.

Для конкретных материалов из уравнения (3) были получены следующие уравнения чистой регрессии:

$$\text{Гранит} \quad Q(x_2) = 222,3x_2^{-0,74}$$

$$\text{Известняк} \quad Q(x_2) = 420,1x_2^{-0,75}$$

Исходя из приведенных уравнений, были построены графики, позволяющие сравнить данные полученные экспериментально и данные полученные с помощью математического моделирования. Графическое сравнение полученных зависимостей и экспериментальных результатов представлено на рис. 2.



1- известняк (модельные значения); 2 – известняк (экспериментальные значения);
3 – гранит (экспериментальные значения); 4 – гранит (модельные значения)

Рисунок 2 – Зависимость производительности двухроторной УЦД от исходной крупности гранита и известняка при оборотах вала мельницы 2800 об/мин

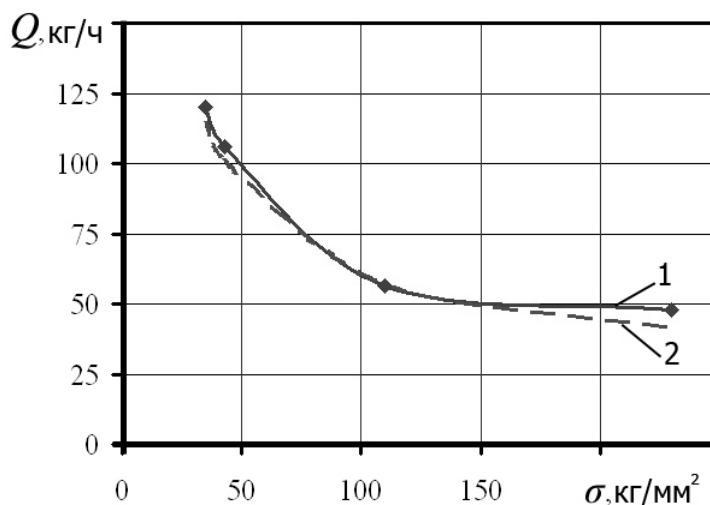
Парный коэффициент корреляции второго факторного признака (крупность исходного материала) и результативного признака (производительность дезинтегратора) $r_{x_2Q} = -0,51$, что говорит об их сильной связи или значимости данного признака.

Уравнение чистой регрессии по третьему факторному признаку – прочность материала σ или (x_3), будет иметь вид:

$$Q(x_3) = 972,5x_3^{-0,6} \quad (4)$$

Графическое сравнение полученных математически зависимостей и экспериментальных результатов представлено на рис. 3. Парный коэффициент

корреляции третьего факторного признака (прочность материала) и результативного признака (производительность дезинтегратора) $r_{x_3Q} = -0,8$, что говорит об их сильной связи.



1 – экспериментальные значения; 2 – модельные значения

Рисунок 3 – Зависимость производительности двухроторной УЦД от прочности горной массы σ , при крупности материала -7+5 мм и оборотах 2800 об/мин

Уравнение чистой регрессии по четвёртому факторному признаку – количеству оборотов вала дезинтегратора (x_4), будет иметь вид:

$$Q(x_4) = 5,36x_4^{0,31} \quad (5)$$

Приведенное уравнение (5) является уравнением чистой регрессии по четвёртому факторному признаку (частота оборотов вала дезинтегратора, x_4), остальные факторные признаки учтены здесь в виде их математического ожидания и соответствующих коэффициентов регрессии.

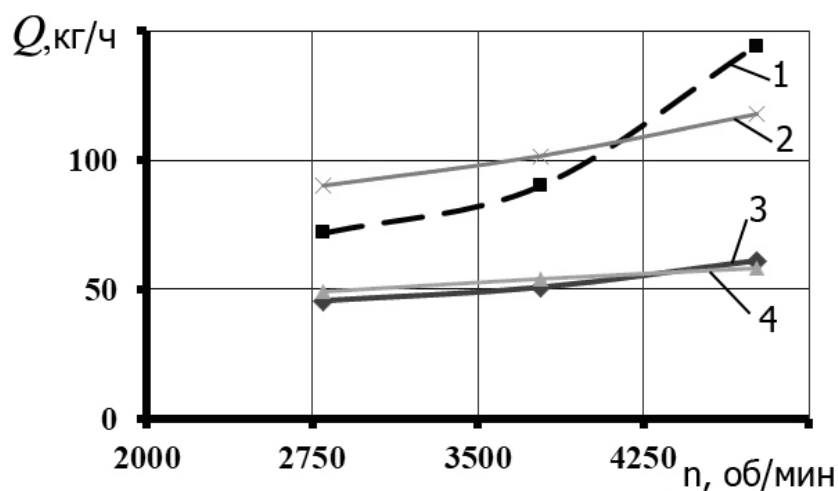
Далее для того, чтоб сравнить полученное уравнение с экспериментальными данными, а именно с данными полученными при измельчении гранита и известняка, вместо математического ожидания по 3-ему факторному признаку – 87 кг/мм^2 (прочность материала, x_3) использовались фактические значения прочности гранита и известняка равные 110 и 43 кг/мм^2 соответственно. Для конкретных материалов из уравнения (5) были получены следующие уравнения чистой регрессии:

$$\text{Гранит} \quad Q(x_4) = 4,2x_4^{0,31}$$

$$\text{Известняк} \quad Q(x_4) = 7,9x_4^{0,31}$$

Учитывая приведенные уравнения, были построены графики, позволяющие сравнить данные, полученные экспериментально, и данные, полученные с помощью математического моделирования (рис. 4).

Оценка значимости полученных коэффициентов корреляции производится путём сравнения случайной величины t , подчинённой распределению Стьюдента с $K = n - 2 = 19 - 2 = 17$ степенями свободы, с критическим значением $t_{K,\alpha}$.



1 - известняк (экспериментальные значения); 2 – известняк (модельные значения);
3 – гранит (экспериментальные значения); 4 – гранит (модельные значения)

Рисунок 4 - Зависимость производительности двухроторной УЦД от оборотов вала мельницы, при крупности гранита и известняка -10+7 мм

Случайная величина t определяется из выражения:

$$t = \frac{r\sqrt{K}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (6)$$

где r – коэффициент корреляции.

Критическое значением $t_{K,\alpha}$ определяется из таблицы распределения Стьюдента для уровня значимости $\alpha = 0,05$. Таким образом, в данном случае $t_{K,\alpha} = 2,11$.

Результаты определения значимости парных коэффициентов корреляции представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Значимость парных коэффициентов корреляции

Парный коэффициент корреляции r	Величина t	Значимость коэффициента корреляции
$r_{x_1Q} = 0,93$	10,43	Значимый
$r_{x_2Q} = -0,51$	2,44	Значимый
$r_{x_3Q} = -0,8$	5,50	Значимый
$r_{x_4Q} = 0,53$	2,58	Значимый

Согласно полученным коэффициентам парной корреляции наиболее тесная связь наблюдается между производительностью УЦД и количеством роторов, следующими факторами по тесноте связи являются прочность исходного материала, частота вращения вала ротора и крупность исходного материала соответственно.

Выводы.

Установлена степенная множественная регрессионная зависимость производительности УЦД от количества роторов, крупности и прочности исходного материала, частоты оборотов вала дезинтегратора, позволяющая математически определять производительность УЦД от данных параметров.

В результате анализа полученного степенного уравнения множественной регрессии подтверждено, что использование новой двухроторной кинематической схемы УЦД в сравнении с однороторной УЦД позволяет увеличить производительность УЦД в 2 раза (рис. 1), что непосредственно связано с формированием новой зоны дезинтеграции, где разрушение материала происходит преимущественно сдвиговыми нагрузками.

Для принятия экономически обоснованного решения о целесообразности использования полученных математических зависимостей по определению производительности УЦД необходимо провести дополнительный комплекс экспериментальных исследований, определяющих потребляемую мощность при измельчении материала в УЦД однороторной и двухроторной конструкции. На основании совокупных данных по производительности и потребляемой мощности возможно будет определить область рациональных значений основных конструктивных, технологических параметров УЦД и параметров исходного материала.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. 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.
3. Nadutyi V.P., Dzhamil Khaddad, Sufharev V.V., Loginova A.A. The results of experimental studies of influence of variable parameters on the performance indicators of shock-centrifugal disintegrator // Науковий вісник НГУ. Дніпро. 2019. Вип. 1. С. 43–48 <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-1/3>
4. Voloshyn, O., Riabtsev O. Some important aspects of rock mechanics and geomechanics. E3S Web of Conferences 109, 00114 (2019). *Essays of Mining Science and Practice* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900114>
5. Fedoskina, O., Fedoskin, V., Loginova, A. The issue of loading the material in a vibro-impact grinder. E3S Web of Conferences 109, 00024 (2019). *Essays of Mining Science and Practice* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900024>
6. Tytov, O., Haddad, J., Sukhariev, V. Modelling of mined rock thin layer disintegration taking into consideration its properties changing during compaction. E3S Web of Conferences 109, 00105 (2019). *Essays of Mining Science and Practice* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900105>
7. Зіборов К.А., Трубіцин М.М., Логінова А.О. Аналіз особливостей робочого процесу та конструкцій опорного вузла ударно-відцентрових дробарок з вертикальним валом робочого органа // Гірничі електромеханіка та автоматика. 2013. Вип. 91. С. 131-136.
8. Hardoon D.R., Szedmak S., Shawe-Taylor J. 2004 Canonical Correlation Analysis: An Overview with Application to Learning Methods. Massachusetts Institute of Technology, Neural Computation, Volume 16, Issue 12, p. 2639-2664. <https://doi.org/10.1162/0899766042321814>

REFERENCES

1. Nadutyi V.P., Ziborov K.A. and Loginova A.A. IGTM NAS of Ukraine (2017), *Udarno-vidtsentrovnyi dezintegrator* [Shock-centrifugal disintegrator], Dnipropetrovsk, UA, Pat. № 116387 UA.
2. Nadutyi V.P., Loginova A.A. and Sukharev V.V., IGTM NAS of Ukraine (2017), *Udarno-vidtsentrovnyi dezintegrator* [Shock-centrifugal disintegrator], Dnipropetrovsk, UA, Pat. № 119892 UA.
3. Nadutyi V.P., Dzhamil Khaddad, Sufharev V.V., Loginova A.A. The results of experimental studies of influence of variable parameters on the performance indicators of shock-centrifugal disintegrator // Науковий вісник НГУ. Дніпро. 2019. Вип. 1. С. 43–48 <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-1/3>
4. Voloshyn, O., Riabtsev O. Some important aspects of rock mechanics and geomechanics. E3S Web of Conferences 109, 00114 (2019). *Essays of Mining Science and Practice* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900114>
5. Fedoskina, O., Fedoskin, V., Loginova, A. The issue of loading the material in a vibro-impact grinder. E3S Web of Conferences 109, 00024 (2019). *Essays of Mining Science and Practice* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900024>
6. Tytov, O., Haddad, J., Sukharev, V. Modelling of mined rock thin layer disintegration taking into consideration its properties changing during compaction. E3S Web of Conferences 109, 00105 (2019). *Essays of Mining Science and Practice* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900105>
7. Loginova, A.A., Ziborov, K.A. and Trubitsin, M.N. (2014), "Analysis of workflow features and structures support unit shock-centrifugal crushers with a vertical shaft working body", *Gornaya elektromekhanika I avtomatika, GVUZ «NGU»*, no. 91, pp. 131-137.
8. Hardoon D.R., Szedmak S. and Shawe-Taylor J. (2004), "2004 Canonical Correlation Analysis: An Overview with Application to Learning Methods", *Massachusetts Institute of Technology, Neural Computation*, Volume 16, Issue 12, p. 2639-2664. <https://doi.org/10.1162/0899766042321814>

Об авторах

Надутьий Володимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, nadutyvp@gmail.com

Джамиль Хаддад, доцент, доктор технических наук, факультет машиностроения, факультет инженерных технологий, Прикладной университет Аль-Балка, Амман, Иордания, drjamil@bau.edu.jo

Сухарев Виталий Витальевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, agnivik@ukr.net

Логінова Анастасія Александрівна, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, logan.anlim@gmail.com

About the authors

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

Jamil Haddad, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Al-Balqa Applied University, Amman, Jordan, drjamil@bau.edu.jo.

Sukharev Vitalii Vitaliiovych, 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. Poliakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, agnivik@ukr.net.

Loginova Anastasiya 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. Poliakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, logan.anlim@gmail.com.

Анотація. Ударно-відцентровий тип подрібнювального устаткування широко використовується у гірничо-збагачувальній, металургійній і будівельній галузях. У даній роботі представлений кореляційно-регресійний аналіз впливу параметрів ударно-відцентрового дезінтегратора (УВД) і характеристик подрібнюваної гірської маси на його продуктивність. Для апроксимації експериментальних даних використовувався метод найменших квадратів, в якому результативним ознакою була продуктивність УВД, а факторними ознаками кількість роторів, крупність вихідного матеріалу, міцність вихідного матеріалу, частота обертання валу роторів. В результаті аналізу експериментальних даних побудовано рівняння множинної регресії, яке визначає продуктивність УВД від сукупного зміни всіх факторних показників, а також рівняння чистої регресії, що визначають зміну продуктивності УВД від кожного фактора окремо, що дозволило встановити ступінь ефективності застосування даної конструкції двороторної УВД. Згідно з градацією коефіцієнтів отриманої регресії, зростання кількості роторів від 1 до 2 викликає зростання продуктивності в 2 рази (100%); зростання крупності вихідного матеріалу на 1% викликає

падіння продуктивності на 0,75%; зростання міцності вихідного матеріалу на 1% викликає зниження продуктивності на 0,6%; зростання кількості оборотів вала на 1% викликає зростання продуктивності на 0,31%. Виходячи з отриманих коефіцієнтів парної кореляції, найбільш тісний зв'язок параметрів спостерігається між продуктивністю УВД і кількістю роторів, наступними факторами по тісноті зв'язку є міцність вихідного матеріалу, частота обертання валу ротора і крупність вихідного матеріалу відповідно. Використання нової двороторної кінематичної схеми УВД в порівнянні з однороторною УВД дозволяє збільшити продуктивність УВД в 2 рази, це досягається формуванням нової зони дезінтеграції, де руйнування матеріалу відбувається переважно зсувними навантаженнями

Ключові слова: дезінтегратор, руйнування, удар, зсув, гірська маса, продуктивність.

Annotation. The shock-centrifugal type of grinding equipment is widely used in ore mining and processing, metallurgical and building industries. This paper presents a correlation-regression analysis of the influence of the shock-centrifugal disintegrator (SCD) parameters and characteristics of the crushed rock mass on the SCD performance. For the approximation of the experimental data, the least-squares method was used, in which performance of the SCD was the effective feature, and the factor attributes were the number of rotors, size of the starting material, strength of the starting material, and speed of the rotor shaft rotations. As a result of the analysis based on the experimental data, the multiple regression equation was constructed, which determines the SCD performance depending on cumulative change in all factor characteristics, as well as the net regression equations, which determine change in the SCD performance depending on each factor individually; this allowed to establish efficiency of using of this design of the SCD. According to the coefficient gradation of the obtained regression, an increase in the number of rotors from 1 to 2 causes twice increase of productivity (100%); with increase in particle size of the starting material by 1% productivity decreases by 0.75%; with increase in the strength of the starting material by 1% productivity decreases by 0.6%; with increase in the number of shaft rotations by 1% productivity increases by 0.31%. Based on the obtained pair correlation coefficients, the closest correlation of the parameters is observed between the SCD productivity and the number of rotors; they are followed by the strength of the starting material, rotational speed of the rotor shaft and the size of the starting material, respectively. The use of the new two-rotary kinematic scheme of the SCD gives twice increase of the SCD performance in comparison with a single-rotary SCD; this is achieved by formation of a new disintegration zone, where material is destructed mainly under the action of shear loads.

Keywords: disintegrator, destruction, impact, shear, rock mass, productivity.

Стаття надійшла до редакції 26.01. 2020

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