

УДК 622.74.913.1

Ягнюкова И.В., аспирант
(ИГТМ НАН Украины)**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНОЙ
МАССЫ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПРИ КРУГОВЫХ
НАПРАВЛЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПРОСЕИВАЮЩИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ****Ягнюкова I.V.**, аспірант
(ИГТМ НАН України)**ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ ГІРСЬКОЇ МАСИ
ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ ПРИ КРУГОВИХ СПРЯМОВАНИХ
КОЛИВАННЯХ ПРОСІЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ****Iagniukova I.V.**, Doctoral Student
(IGTM NAS of Ukraine)**DETERMINATION OF EFFICIENCY OF HIGHLY HUMID ROCK
CLASSIFICATION AT CIRCULAR DIRECTED OSCILLATIONS OF THE
SCREENING SURFACES**

Аннотация. В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и режимных параметров валкового вибрационного классификатора, а также свойств горной массы на его эффективность. Эффективность валкового вибрационного классификатора определена в зависимости от его конструктивных параметров, таких как угол наклона и зазор между валками, от его режимных параметров, таких как угловая частота вибровозбудителя и удельная нагрузка материала на единицу площади просеивающей поверхности, а также от таких свойств горной массы, как ее влажность и насыпная плотность. Экспериментальные исследования позволят дать сравнительную оценку валковому вибрационному и валковому виброударному классификаторам, имеющим различные по своей конструкции просеивающие поверхности.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, гладкие валки, полимерные валки, валковый вибрационный классификатор, эффективность.

Технологическая операция классификации по крупности полезных ископаемых применяется на всех стадиях их переработки и отличается разнообразием крупности разделения, особенностями свойств горной массы, поэтому требуется постоянная адаптация серийных средств классификации к техническим условиям или разработка специальных классификаторов. Чаще всего для этих целей применяются вибрационные грохоты и классификаторы различных конструкций и типоразмеров. При их использовании встречается ряд трудностей, которые заставляют исследователей искать новые технические решения. Борьба с отрицательным влиянием повышенной влажности горной массы на технологические показатели машины, снижение металлоемкости, повышение удельной производительности и эффективности переработки, как и

прежде, остаются задачами совершенствования конструкций классифицирующих горных машин.

Одним из перспективных направлений является использование валковых вибрационных классификаторов, которые имеют высокую удельную производительность, являются динамически уравновешенной механической системой, не требующей специальных фундаментов и виброизоляции, имеют низкий уровень производственного шума.

Созданные ранее валковые грохоты были предназначены, в основном, для предварительного грохочения, и к ним не предъявлялись высокие требования по эффективности разделения или не предполагалось их использование для мелкой классификации. Изучение работы классификаторов валкового типа показало, что отсутствуют данные о влиянии изменения их режимных и конструктивных параметров на технологические показатели, недостаточно изучен процесс разделения сыпучей массы между вращающимися валками и влияние на процесс физико-механических свойств сыпучей массы. Несмотря на ограниченное количество публикаций в этом направлении, в зарубежной практике появляются новые перспективные конструкции валковых классификаторов с высокой эффективностью при переработке трудногрохотимой массы [1].

Во всех случаях валковые классификаторы показали высокие эксплуатационные качества и технологические показатели. Отличительной их особенностью является: высокая надежность, незначительная металлоемкость, низкие эксплуатационные затраты, относительно невысокая стоимость, и в целом конструкции классификаторов валкового типа можно считать перспективными [2, 3]. В ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины выполнен ряд исследований и разработаны новые конструкции валковых классификаторов, позволяющих решить проблемные вопросы классификации разнообразного минерального сырья [4, 5].

Одной из последних разработок ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины в направлении интенсификации переработки трудногрохотимого минерального сырья является валковый виброударный классификатор [6]. На основании полученных результатов экспериментальных исследований [7] по эффективности виброударного классификатора возникла необходимость сравнить модели вибрационного и виброударного классификаторов, ввиду их различных валковых просеивающих поверхностей.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и режимных параметров вибрационного классификатора, а также свойств перерабатываемой горной массы на эффективность его работы.

Конструкция валкового вибрационного классификатора имеет гладкие металлические валки с внешней оболочкой, выполненной из полимерного материала, поскольку выполнение рабочей поверхности сита из полимерных материалов резко повышает их срок службы.

В данном экспериментальном исследовании изучается влияние таких конструктивных параметров классификатора, как зазор между валками δ , угол на-

клона классификатора α , таких режимных параметров, как частота вибровозбудителя ω , удельная нагрузка g , а также таких свойств горной массы, как ее влажность θ и насыпная плотность j , на эффективность работы этой машины.

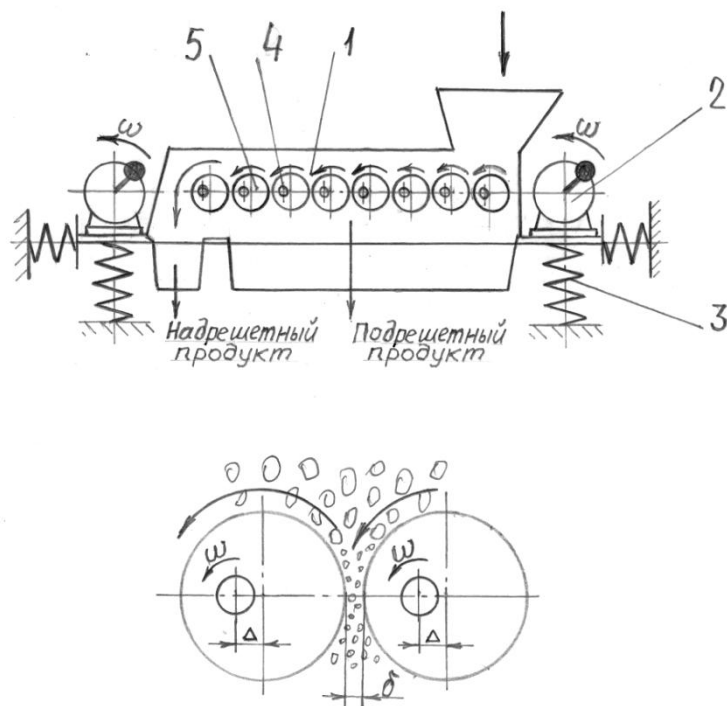
Эффективность классификатора определялась по классической формуле [8]

$$E = \frac{C}{Q\alpha} \cdot 10^4\%,$$

где C - масса подрешетного продукта, Q - масса исходного материала, α - содержание нижнего класса в исходном материале в процентном содержании, при фиксированном времени начала и конца процесса грохочения, постоянстве количества и грансостава граничной крупности исходного продукта.

Исследования проводились на модели валкового вибрационного классификатора, содержащей 8 рядов валков, с длиной рабочей поверхности 1350 мм и шириной 1000 мм.

Общий вид конструкции экспериментальной установки валкового виброударного классификатора представлен на рис. 1.



1 –короб; 2 – инерционный вибровозбудитель; 3 – упругие связи;
4 – эксцентриситет валков; 5 – рабочие валки

Рисунок 1 - Общий вид конструкции экспериментальной установки

В ходе экспериментов диапазоны варьируемых параметров изменялись в следующих пределах:

α - угол наклона классификатора: -15 ... +15 град.;

δ - зазор между валками: 2...25мм;

ω - угловая частота вибровозбудителя: 0,5 ... 10 об/сек;

θ - влажность материала: 2 ... 24 %;

g - удельная нагрузка: 1 ... 25 $m/ч \cdot m^2$;

j - насыпная плотность материала: 1 ... 2,15 m/m^3 .

Результаты экспериментальных исследований эффективности валкового вибрационного классификатора с гладкими валками представлены ниже.

1. Эффективность валкового вибрационного классификатора от частоты вращения вибровозбудителя $E = f(\omega, \theta, \alpha)$ определялась при фиксированных значениях зазора между валками δ , удельной нагрузки g , насыпной плотности материала j и при переменных значениях частоты вибровозбудителя ω , влажности горной массы θ (табл.1, рис.2).

Таблица 1 – Эффективность валкового вибрационного классификатора от частоты вращения вибровозбудителя

Влажность	Эффективность Угол наклона	Частота				
		0,5	2,5	5,0	7,5	10,0
3	15	10,0	11,2	11,4	10,5	10,6
3	10	15,7	14,2	13,8	14,0	13,0
6	5	22,9	19,4	17,2	17,2	16,3
6	0	28,7	25,1	22,6	22,9	26,6
9	-5	35,8	30,9	28,2	29,1	33,9
9	-10	43,0	36,6	33,7	35,2	41,9
12	-15	47,6	40,7	37,3	38,5	45,1

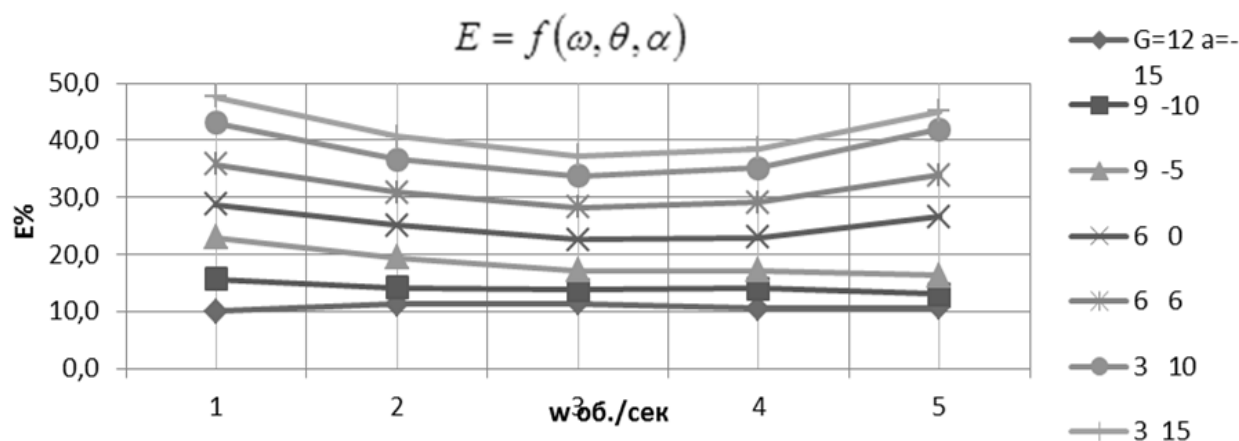
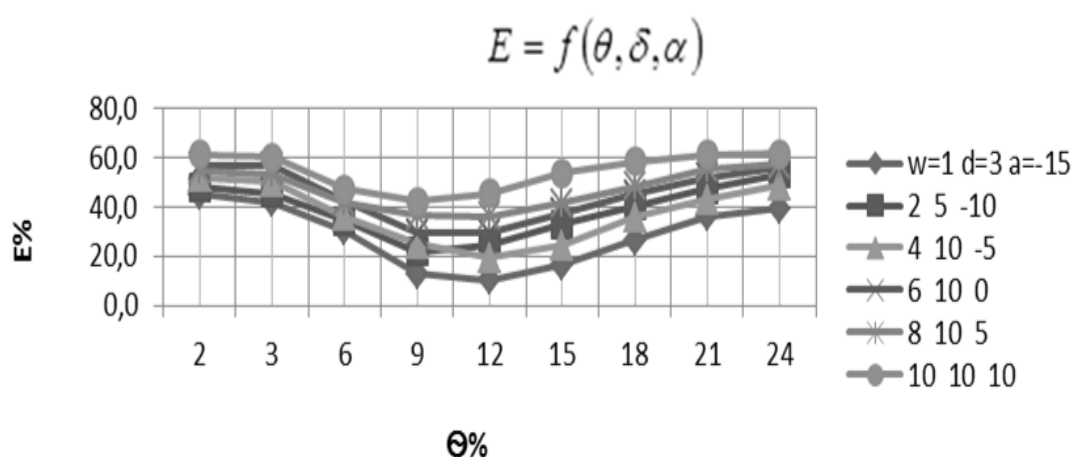


Рисунок 2 - Семейство кривых $E = f(\omega, \theta, \alpha)$ для гладких валков

2. Эффективность валкового вибрационного классификатора от влажности материала $E = f(\theta, \delta, \alpha)$ определялась при фиксированных значениях удельной нагрузки g , насыпной плотности j и при переменных значениях частоты вибровозбудителя ω , зазора между валками δ , угла наклона α , влажности материала θ (табл.2, рис.3).

Таблица 2 – Эффективность валкового вибрационного классификатора от влажности материала

Угол наклона	Зазор	Частота	Влажность								
			2,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
10	10	10	45,1	42,0	30,4	13,0	10,5	16,5	26,5	36,3	39,2
5	10	8	47,9	45,6	34,4	21,8	24,7	33,1	40,5	47,1	53,3
0	10	6	52,0	50,1	36,3	24,9	19,5	24,2	35,8	43,1	48,5
5	10	4	56,6	56,4	42,2	29,5	29,5	37,5	45,0	52,0	55,9
-10	5	2	54,8	53,4	42,0	36,5	36,0	41,5	48,2	55,3	57,1
-15	3	1	61,0	60,1	47,1	42,1	45,4	53,5	58,3	61,2	61,5

Рисунок 3 - Семейство кривых $E = f(\theta, \delta, \alpha)$ для гладких валков

3. Эффективность валкового вибрационного классификатора от его угла наклона $E = f(\alpha, \omega, j)$ определялась при фиксированных значениях влажности материала θ , зазора δ , удельной нагрузки g , и переменных значениях частоты вибровозбудителя ω , угла наклона α , насыпной плотности материала j (табл.3, рис.4).

Таблица 3 – Эффективность валкового вибрационного классификатора от его угла наклона

Насыпная плотность	Эффективность Частота	Угол наклона						
		-15,0	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0
1,36	1	36,2	44,2	49,4	53,1	56,2	57,9	58,0
1,36	2	28,1	36,2	41,2	45,1	49,2	51,8	53,0
1,36	4	31,8	40,2	45,4	49,0	52,2	50,3	48,0
1,61	6	23,5	29,8	36,5	41,5	44,2	44,9	44,2
1,61	8	16,8	25,1	32,3	37,1	40,0	40,9	40,3
1,61	10	14,5	21,8	28,5	33,7	36,8	37,0	36,0

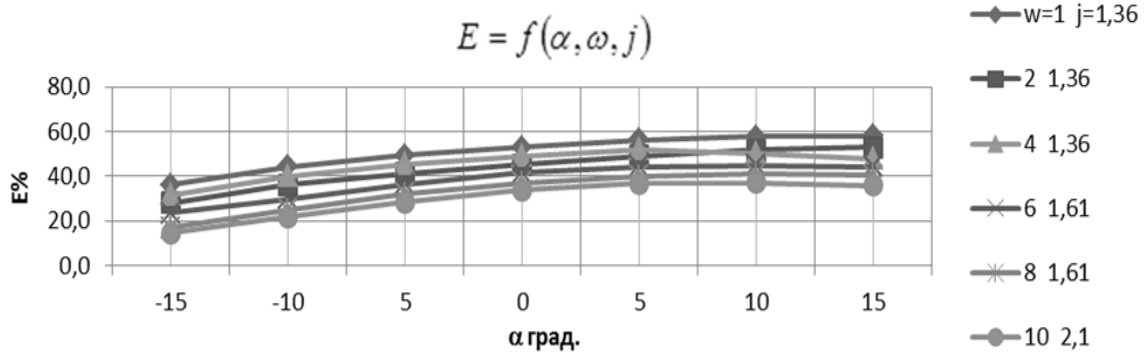


Рисунок 4 - Семейство кривых $E = f(\alpha, \omega, j)$ для гладких валков

4. Эффективность валкового вибрационного классификатора от зазора между валками $E = f(\delta, \theta, \alpha)$ определялась при фиксированных значениях насыпной плотности материала j , частоты вибровозбудителя ω , удельной нагрузки g и переменных значениях угла наклона α , влажности материала θ , зазора между валками δ (табл.4, рис.5).

Таблица 4 – Эффективность валкового вибрационного классификатора от зазора между валками

Влажность	Эффективность Угол наклона	Зазор					
		2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
3	15	5,0	8,3	10,4	9,6	9,0	12,5
6	10	9,8	10,7	11,9	10,5	9,6	13,3
9	5	17,6	16,6	15,7	13,0	10,8	13,8
12	0	12,9	13,7	14,1	12,0	11,2	14,8
15	-5	22,9	20,2	18,4	14,5	12,2	15,9
18	-10	29,4	25,4	21,4	16,1	13,5	17,1
21	-15	38,5	31,4	24,9	17,9	14,4	17,8

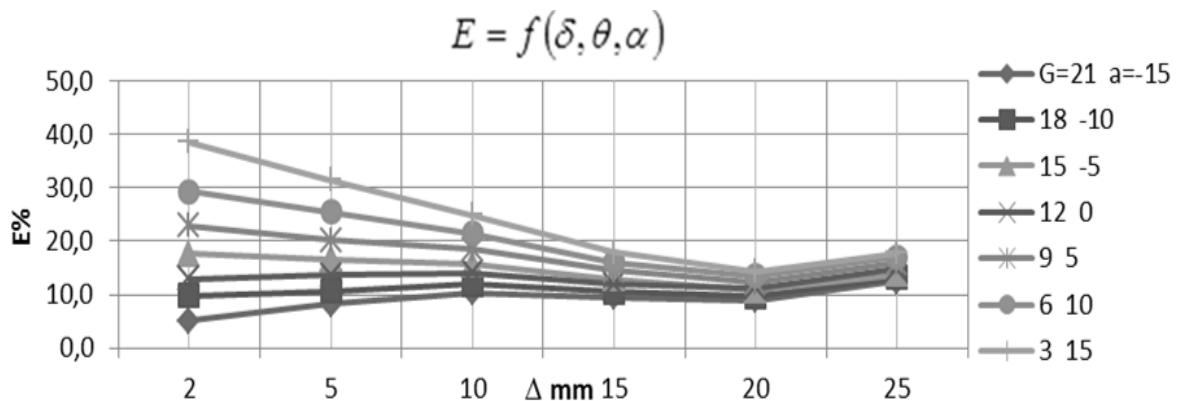


Рисунок 5 - Семейство кривых $E = f(\delta, \theta, \alpha)$ для гладких валков

5. Эффективность валкового вибрационного классификатора от удельной нагрузки $E = f(g, \omega, \delta)$ определялась при фиксированных значениях влажности

материала θ , угла наклона α , насыпной плотности j и переменных значениях зазора между валками δ , удельной нагрузки g , частоты вибровозбудителя ω (табл.5, рис.6).

Таблица 5 – Эффективность валкового вибрационного классификатора от удельной нагрузки

Зазор	Эффективность Частота	Удельная нагрузка					
		2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
3	2	49,2	54,3	59,2	59,0	55,4	50,1
5	4	39,1	47,3	53,5	55,1	49,2	36,5
10	6	24,6	37,0	49,4	49,5	41,2	21,8
15	8	14,6	29,5	43,6	45,6	34,1	16,3
20	10	6,8	23,4	38,5	40,7	29,7	11,9

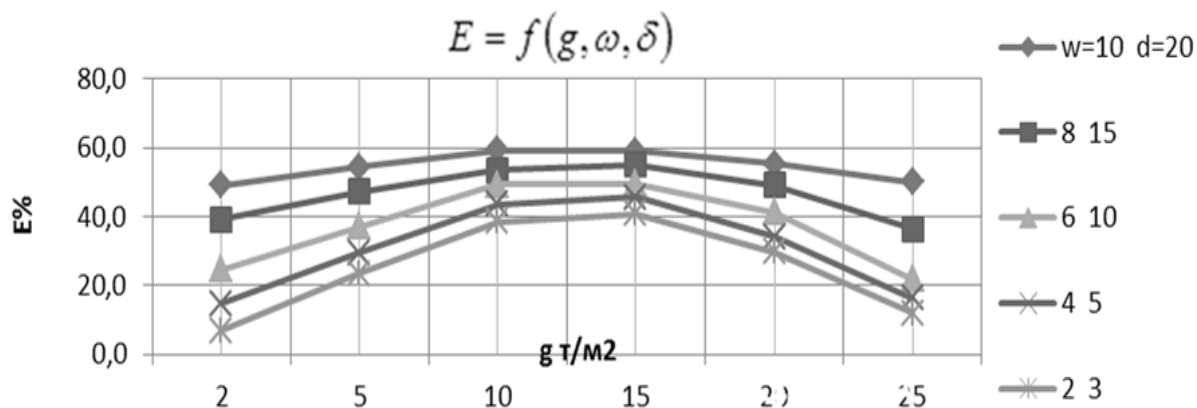


Рисунок 6 - Семейство кривых $E = f(g, \omega, \delta)$ для гладких валков

6. Эффективность валкового вибрационного классификатора от насыпной плотности различных сыпучих материалов (уголь, отходы обогащения, известняк, гранитный щебень, титановая руда) $E = f(j, \omega, \alpha)$ определялась при фиксированных значениях влажности материала θ , зазора между валками δ , удельной нагрузки g , и переменных значениях угла наклона α , частоты вибровозбудителя ω , насыпной плотности j (табл.6, рис.7).

Таблица 6 – Эффективность валкового вибрационного классификатора от насыпной плотности материала

Угол на- клона	Эффективность Частота	Насыпная плотность				
		1,1	1,3	1,6	1,9	2,1
15	0,5	46,5	51,8	55,9	58,3	61,3
5	1	38,2	44,7	50,1	53,5	57,1
0	2,5	33,1	38,1	43,5	47,7	51,5
-5	5	29,0	33,0	37,9	41,8	44,8
-10	7,5	26,5	29,3	33,1	37,0	40,7
-15	10	23,6	25,7	28,4	33,0	37,3

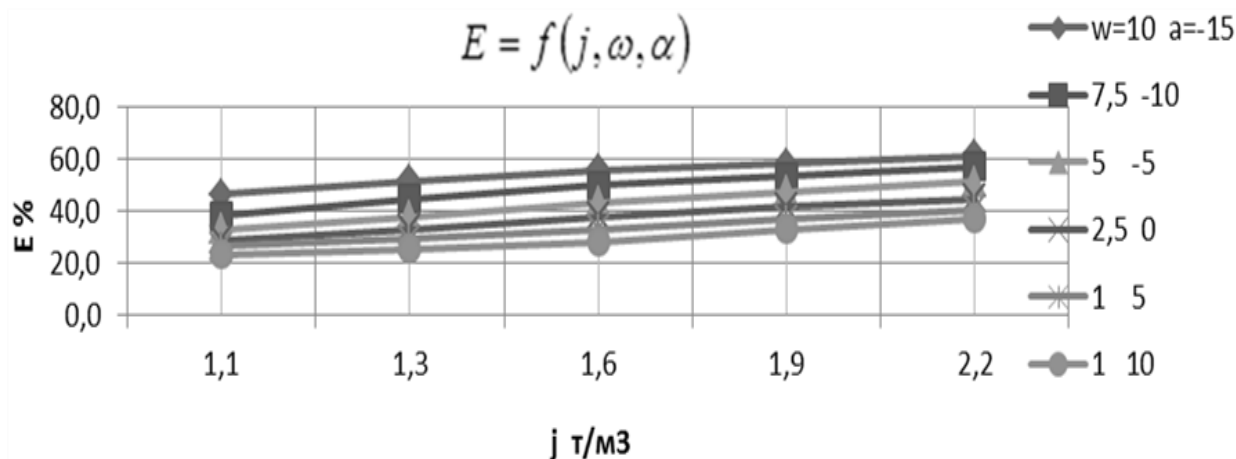


Рисунок 7 - Семейство кривых $E = f(j, \omega, \alpha)$ для гладких валков

Выводы. На основе проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Эффективность грохочения на валковом вибрационном классификаторе имеет квадратичную зависимость от частоты вращения вибровозбудителя ω , угла наклона α , зазора между валками δ , влажности материала θ , удельной нагрузки g и с их увеличением эффективность классификации также увеличивается.

Эффективность минимальна при граничной влажности горной массы 8-12%, так как силы взаимодействия между частицами сыпучего материала максимальны и обусловлены действием капиллярного эффекта за счет внутренней влажности частиц горной массы.

Эффективность максимальна при толщине слоя грохочения 100 – 150 мм, что соответствует удельной нагрузке g в 10 – 15 т/ч·м².

2. Эффективность классификации на валковом вибрационном классификаторе линейно зависит от насыпной плотности материала j и с ростом насыпной плотности горной массы эффективность возрастает, так как с ростом насыпной плотности сыпучего материала контраст масс различных по размеру частиц грохотимого материала возрастает и процесс их послойного - сегрегационного разделения улучшается.

Регрессионный анализ полученных данных с целью получения полной картины зависимостей эффективности вибрационного классификатора от его конструктивных, режимных параметров и свойств горной массы будут продолжены в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. RU2424067, Российская Федерация, МПК В07В1/40, В07В1/54. Двухмассный виброударный грохот / С.А Сизиков, В.С. Сизиков, А.П. Скрипилов, Г.В. Вяткин. – № 2010111988/03. Заявл. 29.03.2010. Оpubл. 20.07.2011.
2. Скрипилов, А.П. Исследования классификации строительных песков на виброударном грохоте / А.П. Скрипилов // Строительные и дорожные машины. – Москва, 2012. - №4. – С. 46-50.
3. Надутый, В.П. Результаты исследований взаимодействия кусковой горной массы с валками вибрационного грохота / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Геотехническая механика:

Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 109. – 2013. – С. 207-216.

4. Надутый, В.П. Условия периодичности виброударного режима валкового вибрационного классификатора с ударными элементами / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 119. – 2014. – С. 70-77.

5. Надутый, В.П. Анализ зависимости виброускорений рабочих органов грохота от последовательности разнонаправленных механических импульсов / В.П. Надутый, А.И. Егурнов, И.В. Ягнюкова // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. - №52 (1094) – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 60-71.

6. Надутый, В.П. Качественный анализ спектра виброускорений формируемых просеивающей поверхностью грохота направленных виброударных колебаний / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Материалы международной научно-технической конференции «Форум горняков – 2014», октябрь, 2014.– С. 146-150.

7. Ягнюкова, И.В. Результаты экспериментальных исследований влияния режимных и конструктивных параметров на эффективность валкового виброударного классификатора при переработке влажной липкой горной массы / И.В. Ягнюкова // Вибрации в технике и технологиях. – 2016. – Вып.№3 (83). – С.73-87.

8. Куптель, Г. А. Обогащение и переработка полезных ископаемых. Теоретические и методические основы лабораторных работ: учебно-методическое пособие / Г.А. Куптель, А. И. Яцковец, А.А. Кологривко. – Минск : БНТУ, 2010. – 193 с.

9. Надутый, В.П. Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности / В.П. Надутый, В.В. Калиниченко. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 135 с.

10. Надутый, В.П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья / В.П. Надутый, Е. С. Лапшин. – Киев: Наук. думка, 2005. – 180 с.

REFERENCES

1. Sizikov, S.A., Sizikov, V.S., Skripilov, A.P. and Viatkin, G.V. (2010), *Dvukhmassniy vibroudarniy grokhot* [Dual-mass vibro-impact screen], Rospatent, Moscow, Russia, Pat. 2424067.

2. Skripilov, A.P (2012), “Research on the classification of sand for construction on vibroimpact screen”, *Building And Road Construction Machines*, vol. 4, pp. 46-50.

3. Nadutyu, V.P., Iagniukov, V.F. and Iagniukova, I.V. (2013), “The results of the research of lumpy mined rock and rollers of the vibrating screen interaction”, *Geo-Technical Mechanics*, vol. 109, pp. 207-216.

4. Nadutyu, V.P., Iagniukov, V.F. and Iagniukova, I.V. (2014), “Periodicity conditions of vibroimpact mode of the roller vibrating classifier with the impactors”, *Geo-Technical Mechanics*, vol. 116, pp. 70-77.

5. Nadutyu, V.P., Iagniukov, A.I. and Iagniukova, I.V. (2014), “The analysis of dependence of executive tools' vibroaccelerations from multidirectional mechanical pulse sequence”, *Visnyk NTU «HPI», Edition: Chemistry, Chemical Technology and Ecology*, vol. 52 (1094), pp. 60-71.

6. Nadutyu, V.P., Iagniukov, V.F. and Iagniukova, I.V. (2014), “Qualitative analysis of the spectrum of vibration acceleration generated by the screening surface of the screen with directed vibro-impact oscillations”, *Forum gornyakov – 2014: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Mining forum-2014: materials international conference], *Forum gornyakov-2014* [Mining Forum-2014], Dnipropetrovsk, Ukraine, 15 October 2014, pp. 146-150.

7. Iagniukova, I.V. (2016), “The results of experimental research on influence of mode and design parameters on the efficiency of a roller vibroimpact classifier when processing wet sticky mined rock”, *Scientific and Technical Journal “Vibrations in Technics and Technologies”*, no.3 (83), pp. 73-87.

8. Kuptel, G. A., Yatskovets, A.I. and Kologrivko, A.A. (2010), *Obogashchenie i pererabotka poleznykh iskopayemykh. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy laboratornykh robot: uchebno-metodicheskoe posobie* [Enrichment and processing of minerals. Theoretical and methodological basis of laboratory work: study guide], BNTU, Minsk, Belarus.

9. Nadutyu, V.P. and Kalinichenko, V.V. (2004), *Vibratsionnoe grokhochenie gornoy massy povyshennoy vlazhnosti* [Vibratory screening of mined rock having high humidity], National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

10. Nadutyu, V.P. and Lapshyn, E.S. (2005), *Veroyatnostnye protsessy vibratsionnoy klassifikatsii mineralnogo syrya* [Stochastic processes of vibration classification of minerals], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

Об авторе

Ягнюкова Ирина Владимировна, аспирант, инженер в отделе Механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, yagnyukova@gmail.com.

About the author

Iagniukova Iryna Volodymyrivna, Doctoral Student, Engineer of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, yagnyukova@gmail.com.

Анотація. В даній статті наведено результати експериментальних досліджень впливу конструктивних і режимних параметрів валкового вібраційного класифікатора, а також властивостей гірської маси на його ефективність. Ефективність валкового вібраційного класифікатора визначена в залежності від його конструктивних параметрів, таких як кут нахилу і зазор між валками, від його режимних параметрів, таких як кутова частота віброзбудника і питома навантаження матеріалу на одиницю площі просіювальної поверхні, а також від таких властивостей гірської маси, як її вологість і насипна щільність. Експериментальні дослідження дозволять дати порівняльну оцінку валковому вібраційному і валковому віброударному класифікаторам, які мають різні за своєю конструкцією просіювальні поверхні.

Ключові слова: експериментальні дослідження, гладкі валки, полімерні валки, валковий вібраційний класифікатор, ефективність.

Abstract. This article presents results of experimental research of how design and mode parameters of the vibrating roll classifier and properties of the rocks impact on the classifier efficiency. Efficiency of the vibrating roll classifier is determined depending on its design parameters such as the slope and gaps between the rollers, such properties of the rocks as moisture content and bulk density, as well as the classifier mode parameters such as the angular frequency of the vibration and specific load per area unit of the screening surface. Experimental research will provide a comparative evaluation of the roll vibrating classifier and roll vibroimpact classifier with different designs of their sieving surfaces.

Keywords: experimental research, smooth rollers, polymer rollers, vibrating roller classifier, efficiency.

Статья поступила в редакцию 13.09.2016

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Надутым В.П.