

# ГЕОТЕХНІЧНА І ГІРНИЧА МЕХАНІКА, МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 622.74: 621.928.235

П.В. Левченко

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН  
Украины, г. Днепропетровск, Украина,  
e-mail: prodvinitiy2005@ukr.net

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА ОТ КОМПЛЕКСА ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

P.V. Levchenko

N.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of NAS of Ukraine,  
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: prodvinitiy2005@ukr.net

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF VERTICAL VIBRATING SCREEN CLASSIFICATION EFFICIENCY DEPENDENCE ON COMPLEX OF DOMINATING FACTORS

**Цель.** Определение комплексного влияния режимных параметров вертикального вибрационного грохота и свойств горной массы на эффективность классификации минерального сырья.

**Методика.** На экспериментальном образце грохота, спроектированном и изготовленном в отделе механики машин и процессов переработки минерального сырья Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, проведены исследования по установлению комплексного влияния на эффективность классификации машины следующих факторов: частоты вращения вала вибровозбудителя, угла направления и амплитуды колебаний, процентного содержания подрешетного класса в исходном продукте, плотности и влажности материала. В ходе экспериментов варьировался один из параметров при фиксированных значениях других, а затем эксперименты повторялись при других значениях фиксированных переменных.

**Результаты.** Создана конструкция вертикального вибрационного грохота, масса которого 1,3 т. при площади просеивающей поверхности 3,2 м<sup>2</sup>. В ходе экспериментов было установлено, что увеличение амплитуды колебаний короба грохота, частоты вращения вала вибровозбудителя и угла его наклона оказывают негативное влияние на эффективность классификации. Кроме этого, повышение влажности горной массы и процентного содержания подрешетного класса в исходном материале отрицательно сказывается на технологическом показателе, а плотность горной породы, наоборот – положительно. При разделении влажной горной массы на вертикальном вибрационном грохоте с высокой эффективностью, значения режимных параметров машины должны быть следующие: амплитуда колебаний короба грохота – 1–2 мм, частота колебаний 21–25 Гц и угол направления колебаний в диапазоне 45–60°. При этом реализуются пространственные колебания рабочего органа, материал быстрее перемешивается, сегрегирует и просеивается.

**Научная новизна.** Установлена зависимость комплексного влияния доминирующих режимных параметров грохота и характеристик горной массы на эффективность классификации машины. При этом установлен закон изменения эффективности грохочения и его количественные характеристики, что позволяет в дальнейшем составить математическую модель процесса.

**Практическая значимость.** Выполненные исследования позволяют определить область рациональных параметров вертикального вибрационного грохота при классификации минерального сырья. По результатам исследований грохот рекомендован к широкому промышленному применению.

**Ключевые слова:** *вертикальный вибрационный грохот, эффективность классификации, вибрация, режимные параметры, свойства горной породы*

**Введение.** Процесс разделения полезных ископаемых по крупности является неотъемлемой частью

при обогащении и переработке горной массы, так как позволяет отбирать готовые классы крупности материалов перед стадиями дробления и измельчения,

тем самым снижая энергозатраты дробильного оборудования.

На современных предприятиях горной, металлургической, химической и пищевой промышленности эксплуатируется более тысячи различных по конструкциям и режимам работы вибрационных грохотов. Наряду с ухудшающимся качеством добываемого сырья, вовлечением в переработку материалов тонких и особо тонких классов крупности, к совершенствованию конструкций вибрационных грохотов предъявляются особые требования, такие как высокие технологические показатели работы машины, низкая металло- и энергоёмкость, малые эксплуатационные затраты.

В Институте геотехнической механики НАН Украины разработана конструкция вертикального вибрационного грохота (ВВГ) [1] с пространственными колебаниями рабочего органа в виде карт (800x500 мм), с резонирующим ленточно-струнным ситом (РЛСС). Грохот имеет массу 1,3 т. и 3,2 м<sup>2</sup> просеивающей поверхности, при этом мощность вибропривода составляет всего лишь 0,74 кВт.

Для определения рациональных параметров работы ВВГ необходимо изучение многофакторного воздействия на процесс грохочения, определение функциональных зависимостей которых позволит разработать математическую модель работы грохота для анализа и прогнозирования его технологических показателей в разнообразных условиях эксплуатации.

При проведении экспериментальных исследований первоначально определены целевые функции и варьируемые параметры, влияющие на процесс классификации, а сам комплекс исследований предполагает метод планирования эксперимента [2].

В работах [3–5] определено влияние конструктивных и режимных параметров ВВГ, а также свойств грохотимой горной массы [6,7] на производительность ( $Q$ , т/ч) и эффективность классификации ( $E$ , %) грохота.

**Целью данной работы** является определение комплексного влияния режимных параметров ВВГ и свойств горной массы на эффективность классификации.

Варьируемые параметры при исследованиях были приняты следующие:

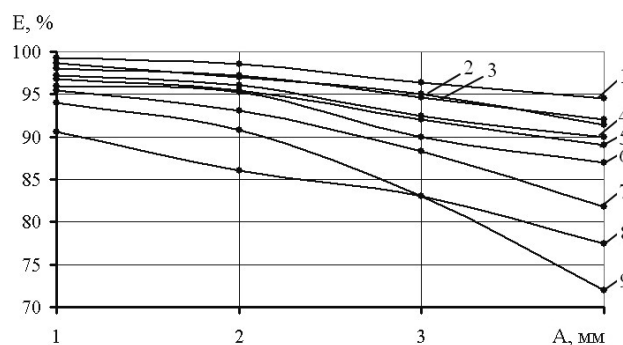
- амплитуда колебаний короба грохота  $A$ , мм;
- частота вращения вала вибровозбудителя  $\omega$ , об/мин;
- угол установки вибровозбудителей относительно вертикали  $\beta$ , град.;
- процентное содержание подрешетного материала в исходном продукте  $\gamma$ , %;
- плотность горной массы  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>;
- влажность материала  $W$ , %.

В качестве экспериментальных материалов были представлены следующие горные породы (класс – 10 мм) [6, 7]: уголь ( $\rho = 1,4$  г/см<sup>3</sup>), шлаковый ( $\rho = 2$  г/см<sup>3</sup>) и гранитный ( $\rho = 2,6$  г/см<sup>3</sup>) отсева, железная руда ( $\rho = 4,9$  г/см<sup>3</sup>).

Фиксированными являлись конструктивные параметры грохота: 1) суммарная длина просеивающей поверхности  $L = 3,2$  м; 2) пропускная способность бункера-питателя  $q = 2$  т/ч; 3) угол наклона просеивающей поверхности относительно горизонта  $\alpha = 8$  град; 4) размер ячейки РЛСС  $d = 3$  мм.

Зависимость эффективности классификации различных по свойствам материалов от амплитуды колебаний короба грохота представлена на рис.1. Повышение параметра  $A$  приводит к линейному снижению эффективности грохочения при различном процентом содержании готового класса крупности в исходном материале и его плотности, а при повышении влажности прослеживается квадратично-убывающая зависимость.

На рис. 2 изображена экспериментальная зависимость эффективности грохочения от частоты вращения вала вибровозбудителя при варьировании свойствами грохотимого материала. Все графики нелинейно снижаются в пределах исследуемых параметров, так как увеличивается скорость движения материала по просеивающей поверхности и он не успевает просеиваться. Оптимальным значением частоты вращения вала вибровозбудителя является диапазон  $\omega = 1300–1500$  об/мин, при котором в несколько раз возрастает амплитуда колебаний просеивающей поверхности, так как РЛСС начинает работать в резонансе с виброприводом, материал быстрее перемещается, сегрегирует и просеивается.

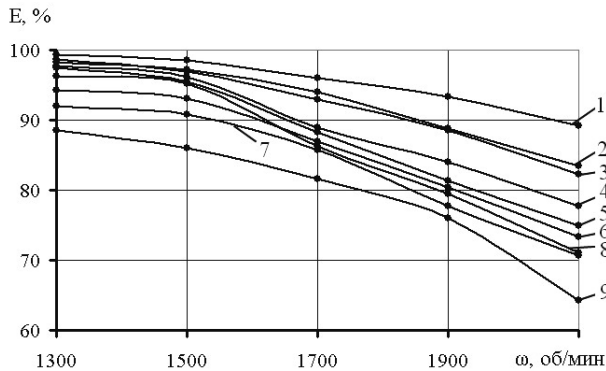


№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W	0	0	0	0	0	0	9	0	15
$\gamma$	20	38	30	38	38	38	38	60	38
$\rho$	2	4,9	2	2,6	2	1,4	2	2	2

Рис. 1. Зависимость эффективности грохочения от амплитуды колебаний короба грохота

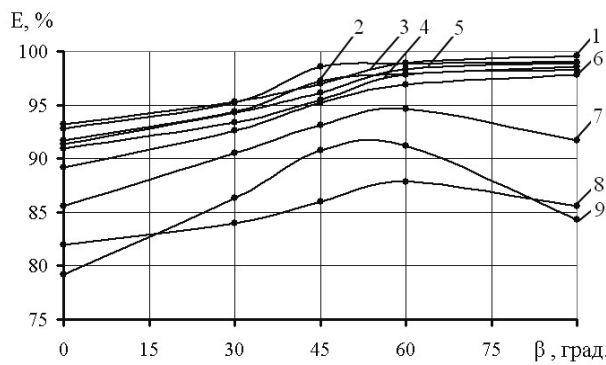
Представленная на рис. 3 зависимость эффективности грохочения от угла установки вибровозбудителей относительно вертикали носит нелинейно возрастающий характер с выраженным экстремумом (максимум) в диапазоне  $45 < \beta < 60$  град. Особенно данный факт замечен при разделении горной массы с высокой влажностью и количеством подрешетного материала в исходном сырье. Следует учесть, что рост эффективности грохочения осуществляется за счет снижения действия вращающего момента в конструкции. При этом замедляется скорость движения

материала по рабочему органу, а при значениях  $\beta > 90$  град. горная масса начинает двигаться в противоположном направлении – снизу вверх.



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W	0	0	0	0	0	9	0	15	0
$\gamma$	20	30	38	38	38	38	38	38	60
$\rho$	2	2	4,9	2,6	2	2	1,4	2	2

Рис. 2. Зависимость эффективности грохочения от частоты вращения вала вибровозбудителя

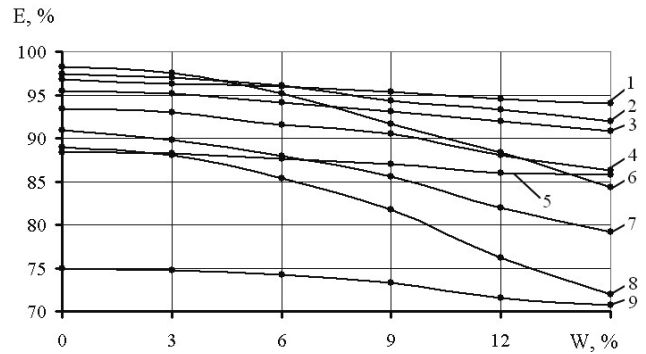


№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W	0	0	0	0	0	0	9	0	15
$\gamma$	20	38	30	38	38	38	38	60	38
$\rho$	2	4,9	2	2	2,6	1,4	2	2	2

Рис. 3. Зависимость эффективности грохочения от угла установки вибровозбудителя

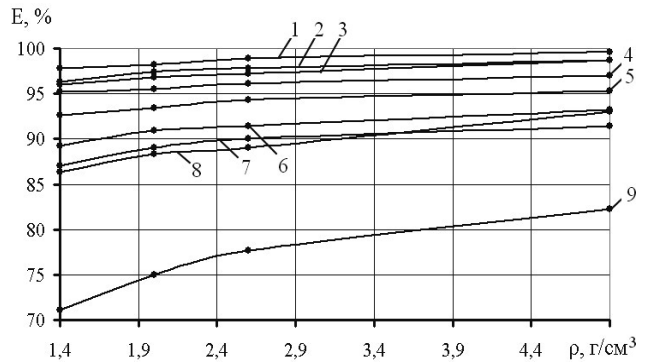
Зависимость эффективности классификации влажного шлакового отсева при варьировании режимными параметрами ВВГ показана на рис.4. Высокие значения  $A$  и  $\beta$  приводят к нелинейному снижению функции  $E(W)$ , а при остальных параметрах данная функция убывает линейно.

На рис. 5 изображена зависимость эффективности грохочения от плотности горных пород. Все графики нелинейно возрастают при увеличении плотности грохотимого материала, что обусловлено влиянием силы тяжести на просеиваемую частицу.



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega$	1500	1300	1500	1500	1700	1500	1500	1500	2100
A	1	2	2	2	2	2	2	4	2
$\beta$	45	45	45	30	45	90	0	45	45

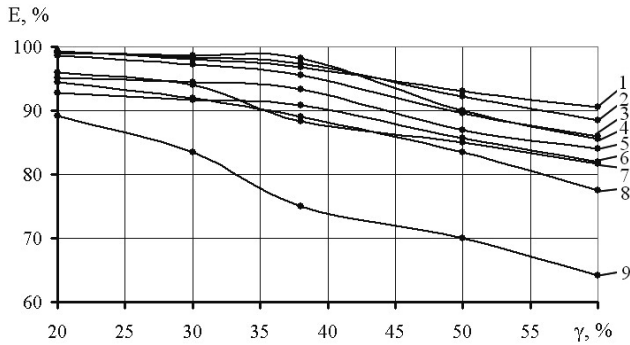
Рис. 4. Зависимость эффективности грохочения от влажности материала



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega$	1500	1300	1500	1500	1500	1500	1500	1700	2100
A	2	2	1	2	2	2	4	2	2
$\beta$	90	45	45	45	30	0	45	45	45

Рис. 5. Зависимость эффективности грохочения от плотности материала

Зависимость эффективности грохочения от процентного содержания подрешетного класса в исходном материале, при различных вариациях режимных параметров грохота, представлена на рис.6. Анализируя полученные графики, хочется отметить, что при увеличении содержания получаемой фракции в исходном продукте эффективность нелинейно уменьшается, т.к. процесс сегрегации материала проходит стремительнее и на сырье в большей степени начинает действовать процесс просеивания. При этом увеличивается количество зерен материала на поверхности контакта с рабочим органом, что, в свою очередь, приводит к „конкуренции“ частиц грохотимого сырья при просеивании [8].



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ω	1500	1300	1500	1500	1500	1500	1700	1500	2100
A	1	2	2	2	2	2	2	4	2
β	45	45	45	90	30	0	45	45	45

Рис. 6. Зависимость эффективности грохочения от процентного содержания готового класса крупности в исходном материале

**Выводы.** Эффективность классификации горной массы на ВВГ существенно зависит от её свойств. Так увеличение содержания товарного класса в исходном продукте приводит к снижению эффективности просеивания, а плотность материала наоборот – к ее росту. Одним из важных характеристик материала, оказывающим значительное влияние на процесс разделения, является его влажность, которая непосредственно приводит к активизации сил вязкого сцепления частиц материала между собой и их окомкованию.

При разделении влажной горной массы на ВВГ, с высокой эффективностью, необходимо задаться такими режимными параметрами машины, при которых реализуются пространственные колебания рабочего органа с малой амплитудой, частотой порядка 21–25 Гц и углом направления колебаний в диапазоне 45–60 град. Так, при грохочении материала (–3 мм) тонким слоем с содержанием влаги около 15%, склонной к агломерированию, эффективность классификации составила от 91 до 94% при 38% содержании подрешетного продукта в исходном сырье.

**Список литературы / References**

1. Пат. № 53632 UA, МПК<sup>8</sup> В 07 В 1/40 (2006.01). Вертикальный вибрационный грохот / Надутый В.П., Левченко П.В., Кижло Л.А.; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ; Заявл. 26.04.2010; Опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19. – 3 с.  
 Nadutyi, V.P., Levchenko, P.V. and Kizhlo, L.A. Pat. № 53632 UA, The IPC<sup>8</sup> B07 B 1/40 (2006.01). “Vertical vibrating screen”, declarant and owner of the patent IGTM NAS of Ukraine; Declared April 24, 2010; Published October 11, 2010, Bul. No.19, 3 p.  
 2. Надутый В.П. Определение целевых функций и варьируемых параметров процесса грохочения на вертикальном вибрационном грохоте / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, П.В. Левченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 92. – С. 120–125.

Naduty, V.P., Sukharev, V.V. and Levchenko, P.V. (2011), “Definition of criterion functions and varied parameters of screening process on a vertical vibrating screen”, *Geotekhnicheskaya mekhanika*: Published by IGTM NAS of Ukraine, no.92, pp. 120–125.

3. Надутый В.П. Определение зависимости эффективности грохочения от конструктивных параметров вертикального вибрационного грохота / В.П. Надутый, П.В. Левченко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45 (86). – С. 43–48.

Naduty, V.P. and Levchenko, P.V. (2011), “Determination of dependence of screening efficiency on design data of a vertical vibrating screen”, *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, no.45 (86), pp. 43–48.

4. Франчук В.П. Определение зависимости эффективности грохочения от режимных параметров вертикального вибрационного грохота / В.П. Франчук, В.П. Надутый, П.В. Левченко // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2011. – Вип. 2(62). – С. 73–76.

Franchuk, V.P., Naduty, V.P. and Levchenko, P.V. (2011), “Definition of dependence of screening efficiency on regime parameters of a vertical vibrating screen”, *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiiiah*, no.2(62), pp. 73–76.

5. Надутый В.П. Результаты экспериментальных исследований зависимости производительности вертикального вибрационного грохота от его конструктивных параметров / В.П. Надутый, П.В. Левченко // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Укр. міжвід. наук.-техн. зб. держ. ун-ту ”Львівська політехніка”. – Львів, 2011. – Вип. 45. – С.24–29.

Naduty, V.P. and Levchenko, P.V. (2011), “Results of experimental researches of dependence of a vertical vibrating screen productivity on design data”, *Avtomayzatsiia vyrobnychyh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni*, Published by Lvivska politekhnika, no.45, pp. 24–29.

6. Надутый В.П. Влияние характеристик горной массы на эффективность классификации вертикального вибрационного грохота / В.П. Надутый, П.В. Левченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 93. – С. 81–86.

Naduty, V.P. and Levchenko, P.V. (2011), “Influence of rock mass features on classification efficiency of a vertical vibrating screen”, *Geotekhnicheskaya mekhanika*, Published by IGTM NAS of Ukraine, no.93, pp. 81–86.

7. Надутый В.П. Влияние свойств горной массы на производительность вертикального вибрационного грохота/ В.П. Надутый, П.В. Левченко, И.П. Хмеленко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип.94. – С. 23–29.

Naduty, V.P., Levchenko, P.V. and Khmelenko, I.P. (2011), “Influence of rock mass features on productivity of a vertical vibrating screen”, *Geotekhnicheskaya mekhanika*: Published by IGTM NAS of Ukraine, no.94, pp. 23–29.

8. Надутый В.П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья / Надутый В.П., Лапшин Е.С. – К.: Наук. думка, 2005. – С. 124–127.

Naduty, V.P. and Lapshin, Ye.S. (2005), *Veroyatnostnye protsessy vibratsyonnoy klassifikatsyi mineral'nogo syrya* [Random Processes in Vibrating Classification of Mineral Materials], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.

**Мета.** Визначення комплексного впливу режимних параметрів вертикального вібраційного грохоту й властивостей гірської маси на ефективність класифікації мінеральної сировини.

**Методика.** На експериментальному зразку грохоту, спроектованому й виготовленому у відділі механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, проведено дослідження зі встановлення комплексного впливу на ефективність класифікації машини наступних факторів: частоти обертання валу вібробудника, кута направлення й амплітуди коливань, процентного вмісту підрешітного класу у вихідному продукті, щільності й вологості матеріалу. У ході експериментів варіювався один із параметрів при фіксованих значеннях інших, а потім експерименти повторювалися при інших значеннях фіксованих змінних.

**Результати.** Створено конструкцію вертикального вібраційного грохоту, маса якого 1,3 т. при площі просіваючої поверхні 3,2 м<sup>2</sup>. У ході експериментів було встановлено, що збільшення амплітуди коливань коробка грохоту, частоти обертання валу вібробудника й кута його нахилу негативно впливають на ефективність класифікації. Крім цього, підвищення вологості гірської маси й процентного вмісту підрешітного класу у вхідному матеріалі також негативно позначається на технологічному показнику, а щільність гірської породи, навпаки – позитивно. При розділенні вологої гірської маси на вертикальному вібраційному грохоті, з високою ефективністю, значення режимних параметрів машини повинні бути наступними: амплітуда коливань коробка грохоту – 1–2 мм, частота коливань 21–25 Гц і кут напрямку коливань у діапазоні 45–60°. При цьому реалізуються просторові коливання робочого органу, матеріал швидше перемішується, сегрегує й просівається.

**Наукова новизна.** Встановлено залежність комплексного впливу домінуючих режимних параметрів грохоту й характеристик гірської маси на ефективність класифікації машини. При цьому, встановлені закон зміни ефективності просівання та його кількісні характеристики, що дозволяє надалі скласти математичну модель процесу.

**Практична значущість.** Виконані дослідження дозволяють визначити область раціональних параметрів вертикального вібраційного грохоту при класифікації мінеральної сировини. За результатами досліджень грохот рекомендовано до широкого промислового застосування.

днів грохот рекомендовано до широкого промислового застосування.

**Ключові слова:** вертикальний вібраційний грохот, ефективність класифікації, вібрація, режимні параметри, властивості гірської породи

**Purpose.** To determine complex influence of mode parameters of a vertical vibrating screen and properties of mined rock on efficiency of classification of mineral raw materials.

**Methodology.** On the experimental sample of the screen designed and produced by Department of Machine Mechanics and Mineral Raw Materials Treatment Processes of N.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of NAS of Ukraine, researches on establishment of complex influence of following factors on classification efficiency were carried out: frequencies of rotation of a vibrator shaft, an angle of a direction and amplitude of fluctuations, percentage of throughproduct in the initial product, density and humidity of a material. During experiments one of parameters varied at the fixed values of others, and then experiments repeated at other values of the fixed variables.

**Findings.** Construction of the vertical vibrating screen, which weighs 1.3 tons, is created with the area of a sifting surface 3.2 m<sup>2</sup>. During experiments we established that the increase in amplitude of fluctuations of the box of the screen, frequency of rotation of the vibrator shaft and the angle of its inclination makes negative impact on classification efficiency. Increase of humidity of mined rock and of throughproduct content in the initial material negatively affects a technological indicator but higher rock density has positive effect. During screening of damp mined rock on the vertical vibrating screen, with high efficiency, values of mode parameters should be as follows: amplitude of fluctuations of the screen box – 1–2 mm, frequency of fluctuations of 21–25 Hz and the angle of a fluctuations direction in the range of 45–60°. As the spatial fluctuations of the working body are realized the material mixes up, segregates and is sifted faster.

**Originality.** Dependence of complex influence of dominating mode parameters of the screen and rock characteristics on classification efficiency was established. And the law of change of the screening efficiency and quantitative characteristics that allows making mathematical model of process was determined.

**Practical value.** The executed researches allow defining range of the vertical vibrating screen rational parameters for mineral raw materials classification. As the result of research the screen is recommended to wide industrial application.

**Keywords:** vertical vibrating screen, efficiency of classification, vibration, mode parameters, properties of rock

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.О. Блюссом. Дата надходження рукопису 28.09.11