

БУКИН С.Л. (к.т.н., доцент)

МАСЛОВ С.Г. (аспирант)

Донецкий национальный технический университет

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МНОГОВИБРАТОРНОГО ИНЕРЦИОННОГО ВИБРОГРОХОТА СВЕРХТОНКОГО ГРОХОЧЕНИЯ**

*Статья посвящена разработке вибрационного многовибраторного грохота для тонкого грохочения углесодержащих шламов. Приведены результаты промышленных динамических и технологических испытаний грохота. Установлены значительные преимущества грохота с бигармоническим режимом работы по сравнению с грохотом с гармоническим режимом.*

**Ключевые слова:** *вибрационный грохот, инерционный вибровозбудитель, бигармонический режим, сверхтонкое грохочение*

**Введение.** В Украине накоплено 3176 млн. т отходов угольной промышленности, из которых 87426 тыс. т – потенциальные топливные ресурсы [1]. Только в Донецкой области находится более 170 млн. т балансовых шламов с зольностью не более 45%, забалансовых первой категории – более 13,5 млн. т с зольностью не более 60% и забалансовых второй категории – более 15,5 млн. т с зольностью 70...75% [2].

При углеобогатительных фабриках Украины находятся 35 илонакопителей общей вместимостью 129 млн. м<sup>3</sup>, которые занимают площадь 1800 га и содержат 114 млн. т шламов, преимущественно отходов флотации зольностью от 45 до 75 % [3].

В последнее десятилетие эти техногенные угольные месторождения Украины активно разрабатываются. Чаще всего технологическая схема включает в себя земснаряд, транспортирующий пульпу на виброгрохоты мокрого сверхтонкого грохочения, на которых происходит разделение исходного материала на два продукта: илистую часть (класс менее 0,1...0,12 мм) и органическую часть (класс крупнее 0,1...0,12 мм). В некоторых случаях рекомендуется проводить классификацию по крупности 40...50 мкм [1, 4]. После обезвоживания на осадительных центрифугах углесодержащая фракция готова к отправке потребителю. Отдельные мини-фабрики предусматривают комплекс обезвоживания илистой фракции, но большинство - сбрасывают этот продукт опять в илонакопители. Обогащение такого труднообогатимого сырья современными техническими средствами малоэффективно.

Как показывают многочисленные исследования и практика обогащения, с увеличением концентрации в исходной гидросмеси тонкодисперсных частиц эффективность мокрого грохочения углей по крупности менее 100...200 мкм резко снижается. Значительная часть тонкодисперсного материала остается в надрешетном продукте грохота вследствие налипания на более крупных частицах, а также слипания (коагуляции) частиц между собой. Поэтому повышение эффективности мокрого грохочения углей с высоким содержанием тонкодисперсных частиц является актуальной научно-технической задачей.

**Основная часть.** В последние годы наблюдается заметный интерес к использованию полигармонических колебаний (частный случай - бигармонических) вибрационных машин для интенсификации технологических процессов переработки полезных ископаемых. Установлено [5, 6], что полигармонические колебания имеют несомненные преимущества по сравнению с гармоническими при использовании в

вибрационных машинах для операций грохочения, отсадки, концентрации на столах, измельчения, транспортирования и многих других. Одним из наиболее простых способов возбуждения бигармонических колебаний является применение нескольких дебалансных вибровозбудителей, вращающихся с разными угловыми скоростями. В работе [7] разработана математическая модель виброгрохота инерционного типа с четырьмя произвольно установленными на рабочем органе вибромашины мотор-вибраторами. В результате численного моделирования колебательной системы установлено [8], что исследуемая динамическая схема, кроме традиционной возможности регулирования амплитуд колебаний рабочего органа по каждой гармонике путем изменения статических моментов масс соответствующих вибровозбудителей и регулирования их угловых скоростей вращения (например, при помощи электронного преобразователя частоты), дополнительно позволяет регулировать амплитудные значения виброускорений вдоль горизонтальной и вертикальной осей X и Y путем изменения направления действия высокочастотных вибровозбудителей (рис. 1).

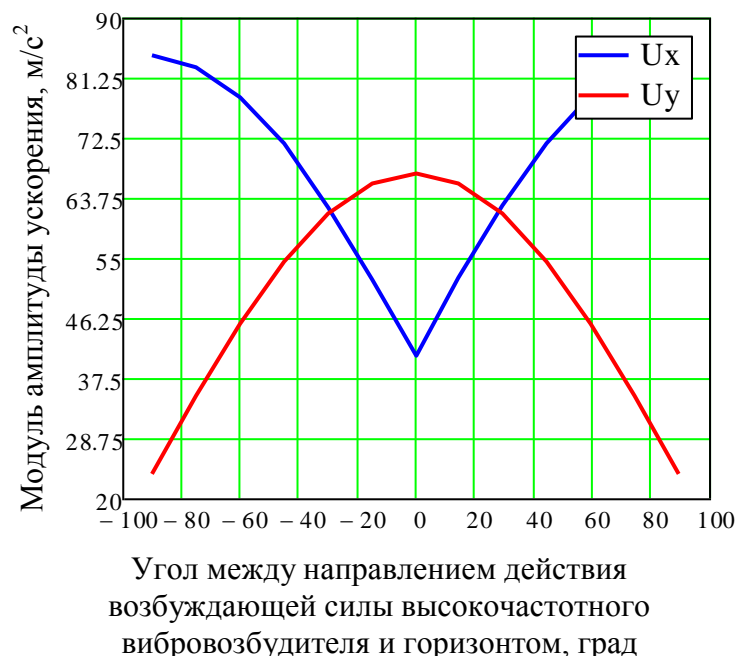


Рис. 1 – Зависимости составляющих виброускорения центра массы корпуса виброгрохота от угла между направлением действия возбуждающей силы высокочастотного вибровозбудителя и горизонтом

На основании выполненных исследований были разработаны технико-экономические требования на экспериментальный образец одномассового бигармонического виброгрохота для тонкой и сверхтонкой классификации угольных шламов [9]. В качестве базы для экспериментального образца грохота выбран серийно выпускаемый вибрационный грохот ГЛКВ-1500, получивший широкое применение при переработке угольных шламов. Грохот нового типа изготовлен ООО «НПК «УкрВиброМаш».

Вибрационный грохот ГЛКВ-1500/3000 (рис. 2) состоит из корпуса 1 с просеивающей поверхностью 2, установленного на раме 3 при помощи опорных виброизоляторов 4. Низкочастотный вибровозбудитель 5, состоящий из двух однофазных дебалансных вибровозбудителей, жестко закреплен на корпусе и создает

направленную возбуждающую силу под углом 45 град к горизонту. Оба дебалансных вибровозбудителя, вращающихся в противоположные стороны, приводятся во вращения от двух асинхронных электродвигателей 6, 7 через лепестковые упругие муфты. На боковинах короба в центре массы колебательной системы закреплен с возможностью изменения положения относительно горизонтальной оси высокочастотный вибровозбудитель 8, основой которого являются мотор-вибраторы ОАО «Ярославский завод «Красный маяк» (РФ).

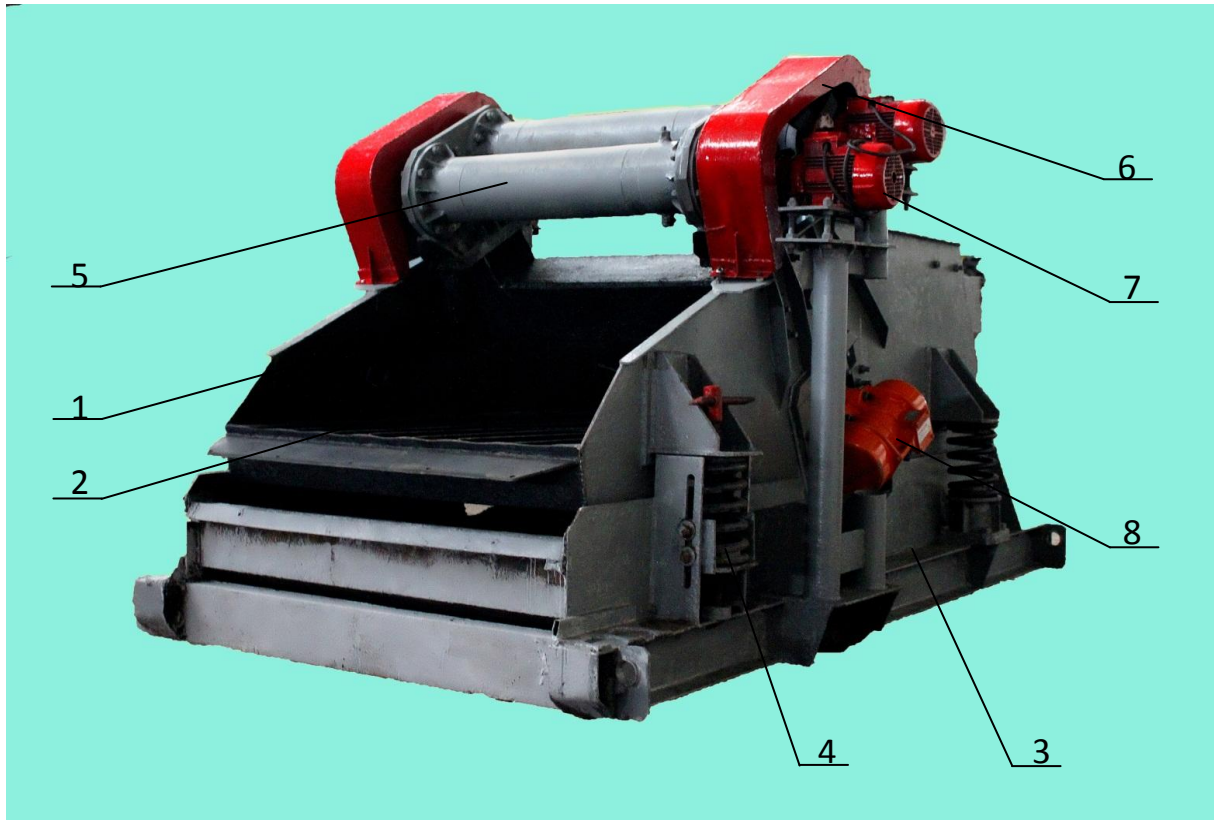


Рис. 2 – Вибрационный грохот ГЛКВ-1500/3000

Мотор-вибраторы типа ИВ-11-50Н укомплектованы плавно регулируемые дебалансами, статический момент которых может изменяться в диапазоне 0...10,26 кг×см (0...90%) для режима работы S1 и 10,26...11,4 кг×см (90...100%) для режима работы S3 60%. Изменяя соотношение частот вращения вибровозбудителей, величины статических моментов масс высокочастотного и низкочастотного вибровозбудителей и угол между направлениями возбуждающих сил, можно получить разнообразные бигармонические колебания, оптимизируя их для решения конкретных технологических задач.

На стадии разработки конструкторской документации был проведен поиск патентной и научно-технической информации, в результате анализа существующего уровня техники была подана заявка на предполагаемое изобретение. По итогам экспертизы был получен патент Украины [10].

Рассматриваемая конструктивная схема отличается простотой, низкой трудоемкостью изготовления и достаточной надежностью. Предполагается, что виброгрохоты нового типа будут иметь существенные преимущества перед грохотами с гармоническим режимом работы при сверхтонкой классификации полезных ископаемых.

Для выявления преимуществ и недостатков натурального образца виброгрохота нового типа были проведены комплексные промышленные испытания. Испытания экспериментального образца бигармонического виброгрохота ГЛКВ-1500/3000 осуществлялись в производственных условиях на установке по очистке объединенного хвостохранилища ЦОФ «Самсоновская», ЦОФ «Дуванская», ЦОФ «Суходольская» (г. Краснодар) на операции разделения углесодержащего шлама по граничной крупности 0,1 мм.

В ходе динамических испытаний фиксировались следующие показатели:

- виброускорения колебаний короба грохота по трем взаимно перпендикулярным осям в установившемся режиме в трех точках короба грохота, расположенных на продольной оси просеивающей поверхности в загрузочной, средней и разгрузочной частях машины;
- амплитуды колебаний короба грохота в тех же точках при пуске и выбеге грохота.

Виброускорения колебаний короба грохота измерялись при варьировании угловой скорости высокочастотного вибровозбудителя, а также при изменении угла между направлением действия возбуждающей силы высокочастотного вибровозбудителя и горизонтом.

Плавное регулирование частоты вынуждающей силы второй гармоники обеспечивалось при помощи микропроцессорного преобразователя частоты L300Plus фирмы НИТАСНИ (Япония). Регулирование амплитуд колебаний короба грохота осуществлялось путем изменения статического момента дебалансных масс низкочастотного вибровозбудителя и мотор-вибраторов (высокочастотного вибровозбудителя). Частота вращения низкочастотного вибровозбудителя (первой ступени) оставалась постоянной.

Регистрация виброускорений в точках измерения производилась при помощи универсального регистратора и анализатора вибраций «VibroDon-3», предназначенного для оперативной записи и анализа сигналов вибрационного поля в лабораторных и промышленных условиях.

В ходе предварительных экспериментов установлено, что угловые поворотные колебания (галопирование) короба относительно центра масс системы практически отсутствуют. Поэтому регистрация вибрационных характеристик производилась только в одной точке короба.

На рис. 3 приведены виброграммы ускорения, скорости и перемещения центра массы короба в рабочем режиме (частота бигармонического режима 25/50 Гц) вдоль вертикальной оси, а на рис. 4 – спектральный гармонический анализ. Как видно из виброграмм ускорения, максимальная величина достигает 10g (вибрационный датчик учитывает ускорение свободного падения - график симметричен относительно оси, проходящей через ординату 1g). Колебания негармонического характера, активно воздействуя на обрабатываемый материал, создают благоприятные условия для удаления «трудных» зерен из ячеек сита и обеспечивают перемешивание зерен в слое надрешетного продукта. Это положительно отражается на качественно-количественных результатах процесса сверхтонкого грохочения шламов.

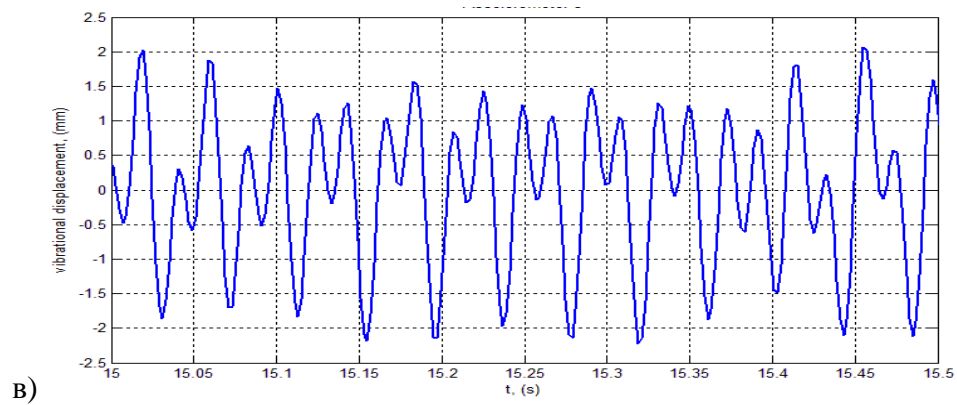
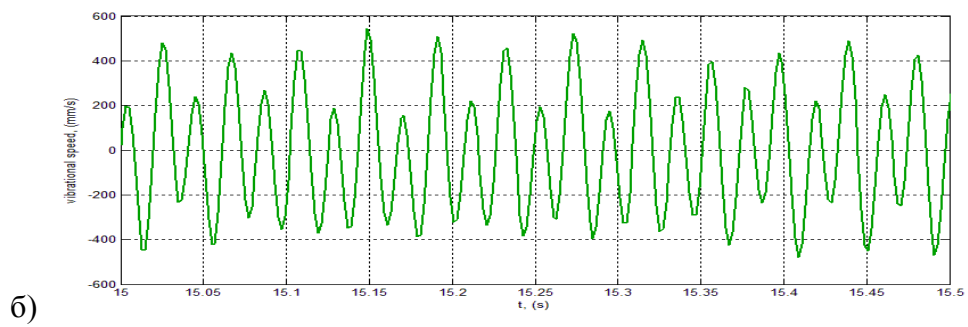
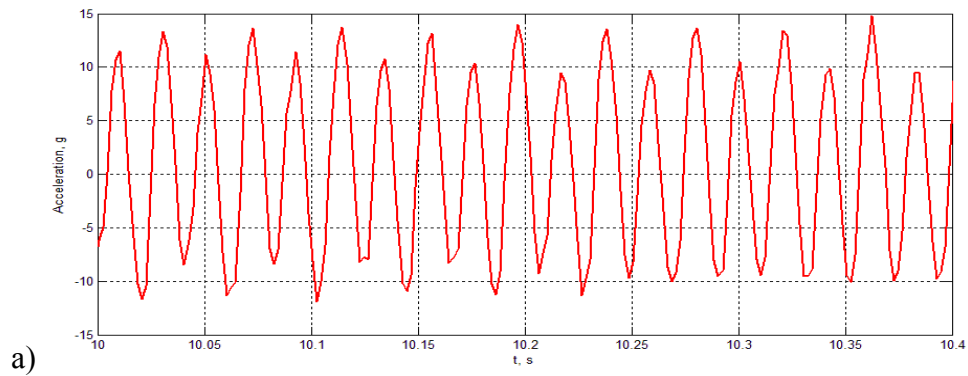


Рис. 3 - Виброграммы ускорения (а), скорости (б) и перемещения (в) центра массы короба виброгрохота в рабочем режиме

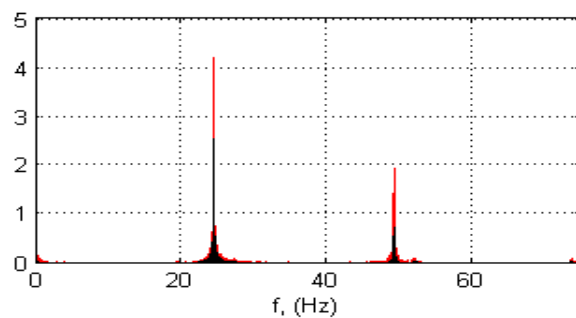


Рис. 4 – Результаты спектрального гармонического анализа

Основной целью промышленных технологических испытаний явилось: определение технологических показателей работы бигармонического виброгрохота при сверхтонком разделении углесодержащих шламов и выявление технологических преимуществ разделения в бигармоническом поле колебаний по сравнению с гармоническим.

В ходе промышленных испытаний изучались следующие показатели:

- эффективность, производительность, засорение продуктов грохочения и влажность надрешетного продукта в зависимости от ряда динамических и технологических факторов;
- долговечность основных узлов грохота и конструкции в целом;
- состояние просеивающей поверхности: срок службы, забивание отверстий сита «трудными» зёрнами и пр.

Во время технологических испытаний отбирались пробы исходного материала, надрешетного и подрешетного продуктов, после обработки которых рассчитывалось содержание класса -100 мкм в исходном материале, подрешетном и надрешетном продуктах. Эффективность грохочения определялась по известной формуле 1) [11]:

$$E = \frac{(\beta - \alpha)(\alpha - \nu)}{\alpha(100 - \alpha)(\beta - \nu)} 10^4, \quad (1)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  - содержание нижнего класса в исходном материале, подрешетном и надрешетном продуктах.

Количественная оценка процесса грохочения производилась по общей производительности грохота, определяемой путем заполнения емкости известного объема за фиксируемое время (объемная производительность). После выделения твердой фазы рассчитывалась общая и удельная производительность по твердому.

Фактическая модернизация серийного грохота ГЛКВ-1500 позволила на новом грохоте беспрепятственно осуществить сравнительные испытания по разделению практически одного и того же шлама в условиях гармонического режима (для этого был просто отключен высокочастотный вибровозбудитель).

В результате испытаний виброгрохота нового типа установлено следующее.

Грохот способен выполнять сверхтонкое мокрое грохочение углесодержащих шламов с эффективностью 80...90 % и производительностью 60 м<sup>3</sup>/ч (14 т/ч по твердому). Удельная производительность соответственно составила 16 м<sup>3</sup>/ч×м<sup>2</sup> (3,7 т/ч×м<sup>2</sup>). При той же эффективности разделения производительность серийно выпускаемого высокочастотного виброгрохота ГЛКВ-1500 составляет 35 м<sup>3</sup>/ч (8 т/ч по твердому). Таким образом при тех же показателях качества разделения грохот ГЛКВ-1500/3000 имеет производительность почти в два раза выше.

Грохот прост в эксплуатации, не требует особых усилий для освоения обслуживающим персоналом и может быть альтернативой многим серийным высокочастотным грохотам с моногармоническим режимом работы, достаточно широко используемых для целей сверхтонкого грохочения.

Для дальнейшего совершенствования грохота предполагается установить на коробе промывочные желоба, расположить ступенчато карты сит и применить высокоэффективные струйные брызгала [12]. Целесообразно провести сравнительные испытания просеивающих поверхностей разного типа.

В результате использования виброгрохота ГЛКВ-1500/3000 на установке по переработке углесодержащего шлама объединенного хвостохранилища ЦОФ «Самсоновская», ЦОФ «Дуванская», ЦОФ «Суходольская» (г. Краснодар)

производительность увеличилась на 80%, что существенно снизило себестоимость переработки. Экономический эффект от использования грохота ГЛКВ-1500/3000 составил 179,2 тыс. грн./год (в ценах 2013 года).

#### **Выводы.**

Проведенные промышленные испытания принципиально нового вибрационного грохота с бигармоническим режимом позволили установить динамические и технологические преимущества машины по сравнению с серийными.

В ходе динамических испытаний зафиксировано, что максимальная величина ускорения короба достигает 10g. Колебания негармонического характера активно воздействуют на обрабатываемый материал, создавая благоприятные условия для удаления «трудных» зерен из ячеек сита и перемешивания зерен в слое надрешетного продукта. Это положительно отражается на качественно-количественных результатах процесса сверхтонкого грохочения шламов. Так, в ходе технологических испытаний на операции сверхтонкого мокрого грохочения углесодержащих шламов получены эффективность разделения 80..90 % и производительность 60 м<sup>3</sup>/ч (14 т/ч по твердому). Удельная производительность соответственно составила 16 м<sup>3</sup>/ч×м<sup>2</sup> (3,7 т/ч×м<sup>2</sup> по твердому). При той же эффективности разделения производительность серийно выпускаемого высокочастотного виброгрохота ГЛКВ-1500 составила 35 м<sup>3</sup>/ч (8 т/ч по твердому).

Для дальнейшего совершенствования грохота предполагается установить на коробе промывочные желоба, расположить ступенчато карты сит, применить высокоэффективные струйные брызгала и просеивающие поверхности нового типа (например, трехмерное сито Pyramid Derrick Corporation, США).

#### **Библиографический список**

1. Вторичные ресурсы твердого топлива Украины / Г.Г. Пивняк, П.И. Пилов, А.С. Кирнарский, В.В. Кочетов // Сб. “Обогащение полезных ископаемых”. - Днепропетровск: Вып. №1 (42).- 1998.- С. 3-9.
2. Хмеленко И.П. Анализ объемов, состава и способов переработки шламов углеобогажительных фабрик // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. №82. – 2009. – С. 176-181.
3. Федоров В.И. Состояние и проблема развития углеобогащения Украины / В.И. Федоров, И.П. Курченко, А.А. Золотко // Уголь Украины. – 1999. -№8. – С.13-17.
4. Надутый В.П. Тонкое вибрационное грохочение при переработке угольных шламов / В.П. Надутый, А.Ф. Нагорский, А.И. Шевченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. №58. – 2005. – С. 176-181.
5. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый, Г.Л. Резниченко / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36 (77) - 37 (78). – С. 81-89.
6. Шевченко Г.А. Поличастотные грохоты для разделения тонких сыпучих материалов / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко, А.Р. Кадыров // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. -2009. -Вип. 38(79). - С. 44-50.
7. Букин С.Л. Динамическая модель бигармонического виброгрохота нового типа / С.Л. Букин, С.Г. Маслов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 16 (142), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – С. 51-56.

8. Букин С.Л. Исследование четырехвibratorной инерционной одномассовой вибромашины в стационарном режиме / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, Р.А. Шолда //
9. Букин С.Л. Разработка высокоэффективного виброгрохота с бигармоническим режимом работы для тонкой классификации угольных шламов / С.Л. Букин, А.Н. Корчевский, С.Г. Маслов // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 41 (82) - 42 (83). – С. 121-126.
10. Патент України на винахід №86267. Інерційний грохот / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, О.П. Лютий // Заявка № а 2007 04711 В07В1/40, 27.04.2007 г. Дата публікації 10.04.2009, бюл. №7.
11. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых, 3 изд. / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич. - М.: Недра. 1980. – 415.
12. Маслов С.Г. Инновационные решения в области тонкого грохочения сыпучих материалов // Машиностроение и техносфера: сб. трудов XVII международной научно-технической конференции. Донецк, - 2010. –С. 169-171.

Надійшла до редколегії 24.03.2014

С.Л. Букин, С.Г. Маслов

#### **ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ БАГАТОВІБРАТОРНОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОГРОХОТА НАДТОНКОГО ГРОХОТІННЯ**

*Стаття присвячена розробці вібраційного багатовібраторного грохоту для тонкого грохотіння вуглевмісних шламів. Наведено результати промислових динамічних і технологічних випробувань грохоту. Встановлено значні переваги грохоту з бігармонійним режимом роботи порівняно з грохотом з гармонійним режимом.*

***Ключові слова: вібраційний грохот, інерційний вібробудник, бігармонійний режим, надтонке грохотіння***

S.L. Bukin, S.G. Maslov

#### **INDUSTRIAL TESTS OF THE INERTIAL SCREEN WITH MANY INERTIAL VIBRATION EXCITERS FOR FINE SCREENING**

*The article is devoted to development of vibrating screen for fine screening coaly waste. The results of dynamic industrial and technological tests of thunder. A significant advantage of the screen with a biharmonic mode of operation compared to rumble with harmonic mode.*

***Keywords: Vibrating screen; Inertial vibration exciter; Biharmonic mode; Fine screening***