

УДК 621.926.3

*Л. А. Сиваченко, А. Н. Хустенко, Л. Л. Сотник*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ ВИБРОВАЛКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

UDC 621.926.3

*L. A. Sivachenko, A. N. Khustenko, L. L. Sotnik*

## EVALUATION OF DISINTEGRATION EFFICIENCY OF VIBRO-ROLLER CHOPPER

### **Аннотация**

Приведены результаты исследования разработанного вибровалкового измельчителя. Даны графики влияния величины зазора на процентное содержание продуктов измельчения при использовании гладких и профильных валков и оценка удельных энергозатрат измельчения твердых материалов, имеющих низкую механическую прочность. Результаты исследований сведены в таблицы.

### **Ключевые слова:**

вибровалковый измельчитель, межвалковый зазор, энергонапряженность, дробление, измельчение, помол, фракция, профильные валки.

### **Abstract**

Results of the investigation of the developed vibro-roller chopper are presented. The paper gives diagrams of influence of gap magnitude on the percentage of disintegration products when using smooth and profile rollers and the evaluation of specific energy costs when disintegrating solid materials having a low mechanical strength. The research results are presented in the tables.

### **Key words:**

vibro-roller chopper, roller gap, power density, crushing, disintegration, grinding, faction, profile rollers.

Процессы измельчения материалов находят широкое применение в различных производствах. Количество измельчаемого в год материала при производстве калийных удобрений, цемента и силикатных изделий, переработке зерна на пищевые и комбикормовые цели измеряется миллионами тонн.

Способы измельчения материалов разнообразны, однако основными из них являются механические, такие как раздавливание, удар и истирание. Во многих публикациях [1, 2] теоретически и экспериментально доказано, что работа измельчения ударом значительно ниже, чем раздавливанием, а самый высокий расход энергии наблюдается при измельчении истиранием.

В современном производстве большое внимание уделяется увеличению производительности и снижению энергозатрат оборудования. В связи с этим возникает вопрос о совершенствовании и модернизации промышленного оборудования, большая часть которого на перерабатывающих предприятиях морально устарела.

Одним из подходов к решению проблемы является переход простого процесса измельчения в более сложный механизм управляемого изменения свойств перерабатываемой среды [3]. Это ведет к созданию измельчителей повышенной интенсивности рабочего процесса: вибрационных, планетарных,

струйных, электромагнитных и ряда других.

Одним из новых конструкторских решений по разработке измельчителей

повышенной энергонапряженности воздействия на частицы разрушаемого материала является предлагаемый вибровалковый измельчитель ВВИ1 (рис. 1).

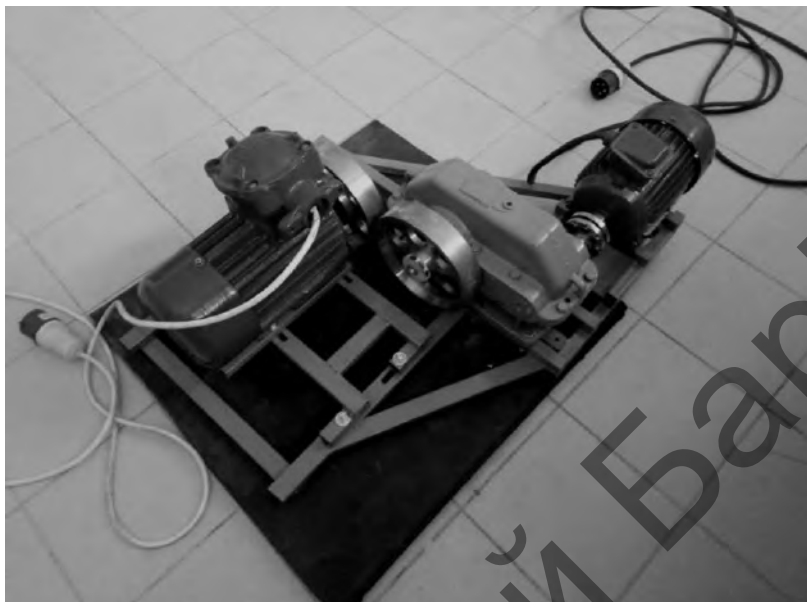


Рис. 1. Вибровалковый измельчитель ВВИ1

Вибровалковый измельчитель относится к группе кинематических вибрационных машин, т. е. таких машин, у которых ведущее звено имеет вполне определенное абсолютное или относительное движение, зависящее только от геометрических размеров ведущего механизма. В нем реализуется совместное ударное и раздавливающее-сдвигающее воздействия на материал за счет придания одному из валков дополнительного движения эксцентрично относительно его центральной оси. Схема измельчителя приведена на рис. 2.

Вибровалковый измельчитель состоит из рамы 1, на которой в соответствующих опорах 2, 3 посредством цапф 4, 5 смонтирован неподвижный валок 6, а в опорах 7, 8 установлен эксцентриковый вал 9, опирающийся на опоры 10, 11 подвижного валка 12. На концах эксцентрикового вала установлены дебалансы 13, 14. Опоры 7, 8 способны перемещаться в направляющих с

пружинами безопасности 15, 16 в целях предотвращения заклинивания. Привод неподвижного валка 6 осуществляется от электродвигателя 17 через муфту 18, редуктор 19 и муфту 20, а подвижного валка – от электродвигателя 21 через муфту 22. Для загрузки и выгрузки материала предусмотрены устройства, выполненные в виде люков 23, 24 соответственно. Эксцентриковый вал 9 устанавливается в опорах 7, 8 с эксцентриситетом  $r$  относительно центральной оси подвижного валка 12 [4].

Рабочий процесс вибровалкового измельчителя осуществляется следующим образом. Одновременно включаются электродвигатели 17, 21 и приводят во вращение соответствующие элементы конструкции, причем неподвижный валок 6 и эксцентриковый вал 9 вращаются навстречу друг другу. При этом эксцентриковый вал 9 через опоры 10, 11 сообщает подвижному валку 12 круговые колебания с амплитудой  $2r$ . Через

загрузочный люк 23 в межвалковое пространство непрерывным потоком подается подлежащий обработке исходный материал и подвергается интенсивному

разрушению путём совместного ударного и раздавливающе-сдвигающего воздействий.

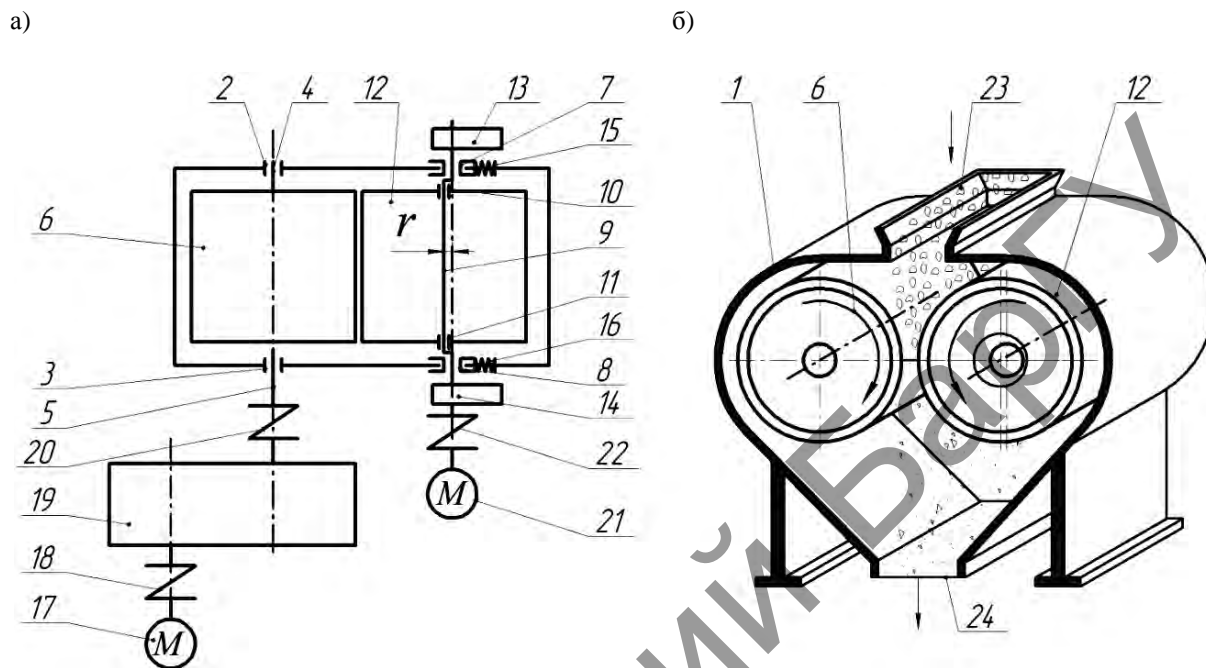


Рис. 2. Схема вибровалкового измельчителя ВВИ1: а – вид сверху; б – вид сбоку

В процессе работы измельчителя собственно подвижный валок 12 за счёт сил трения, возникающих в зоне контакта частиц материала с валком и их захвата внешней поверхностью неподвижного валка 6 и реактивного момента, создаваемого силами трения эксцентрикового вала 9, приводит к вращению подвижного валка 12 в направлении, противоположном вращению валка 6, что способствует захвату материала и его принудительному перемещению через межвалковое пространство. Обработанный таким образом материал удаляется из рабочей зоны агрегата через выгрузочный люк 24.

Для расчета параметров вибровалковых измельчителей, которые могут работать как в режиме дробления, так и в режиме помола, нет существующих методик, т. к. это новый тип аппарата. Приемлемыми являются методики расчета валковых дробилок [5, 6], которые

использованы в качестве основы для предварительного расчета разрабатываемой конструкции.

Интенсивность и степень размола регулируются подбором геометрических и кинематических параметров измельчителя.

Для определения технических возможностей разработанного измельчителя проведены эксперименты измельчения в нем разных материалов, имеющих низкую механическую прочность, т. к. опытный образец измельчителя выполнен с консольным расположением валков. Одним из материалов являлся пенобетон марки 1100, предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж} = 8$  МПа.

Измельчение проводили при размерах валков  $D = 240$  мм и  $L = 50$  мм. Подачу исходного материала с расчетным размером  $d = 13...18$  мм осуществляли непрерывно через загрузочный люк. Частота вращения неподвижного

валка –  $145 \text{ мин}^{-1}$ , частота колебаний эксцентрикового валка –  $1450 \text{ мин}^{-1}$ . Все опыты осуществлялись при сухом способе измельчения. Анализировались три параметра установки, характеризующие параметры измельчителя:

1) максимальный размер исходной фракции, подаваемой в межвалковое пространство  $d_{\max}$ ;

2) производительность измельчителя  $Q$ ;

3) потребляемая мощность  $\Sigma P$ .

В табл. 1 приведены параметры размеров исходной фракции, производительности и потребляемой мощности измельчителя для различных значений межвалкового зазора в вибровалковом измельчителе с гладкими валками [4].

Табл. 1. Параметры ВВИ1

Зазор $b_{\min}$ , мм	Фракция $d_{\max}$ , мм	Производительность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	Мощность неподвижного валка $P_n$ , кВт	Мощность подвижного валка $P_n$ , кВт	Эксцентриситет $\Gamma$ , мм
1	13,7	0,197	0,306	0,240	1
2	14,7	0,295	0,328	0,317	1
3	15,8	0,393	0,334	0,311	1
1	14,7	0,295	0,306	0,240	2
2	15,8	0,393	0,334	0,311	2
3	16,8	0,492	0,338	0,308	2
1	15,8	0,393	0,306	0,240	3
2	16,8	0,492	0,338	0,308	3
3	17,9	0,590	0,343	0,303	3

Из табл. 1 видно, что увеличение зазора поэтапно на 1 мм позволяет увеличить максимальный размер исходного материала  $d_{\max}$  примерно на 5...7 %, суммарная мощность  $\Sigma P$  привода увеличивается примерно на 4...6 %, а производительность  $Q$  – на 17...33 %, но при этом степень прироста производительности уменьшается с увеличением зазора между валками. Увеличение эксцентриситета также оказывает влияние на максимальный размер исходного материала  $d_{\max}$  примерно на 5...7 %, суммарная мощность привода  $\Sigma P$  увеличивается примерно на 6...8 %, а производительность возрастает в тех же пределах, что и при увеличении зазора.

Суммарная мощность привода измельчителя на холостом ходу составляет ~0,45 кВт, под нагрузкой – 0,5...0,6 кВт

(за один проход).

Исследования процесса измельчения материалов в новой конструкции осуществлялись на экспериментальной установке. Разделение на фракции проводилось на грохоте. Результатом измельчения и последующего разделения являются фракции, представленные на рис. 3.

Влияние зазора между валками и значения эксцентриситета на качество измельчения исследовалось при измельчении пенобетона. При этом зазор изменялся от 1 до 3 мм, значение эксцентриситета также изменялось от 1 до 3 мм. На рис. 4 представлены графические зависимости, отображающие влияние зазора и эксцентриситета на процентное содержание размера частиц продуктов измельчения.

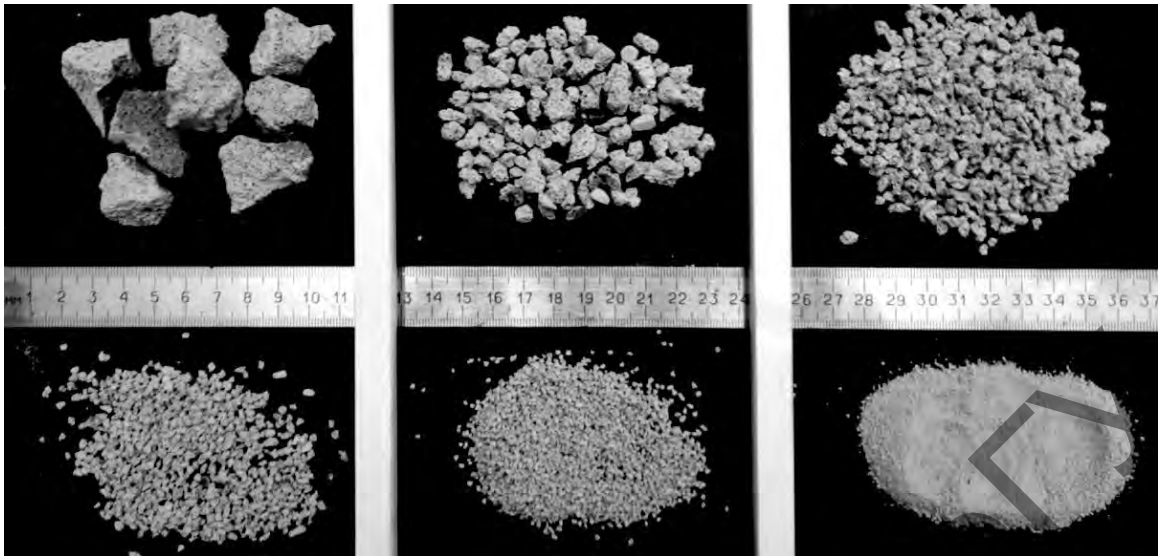


Рис. 3. Размер фракций исходного материала и полученного продукта

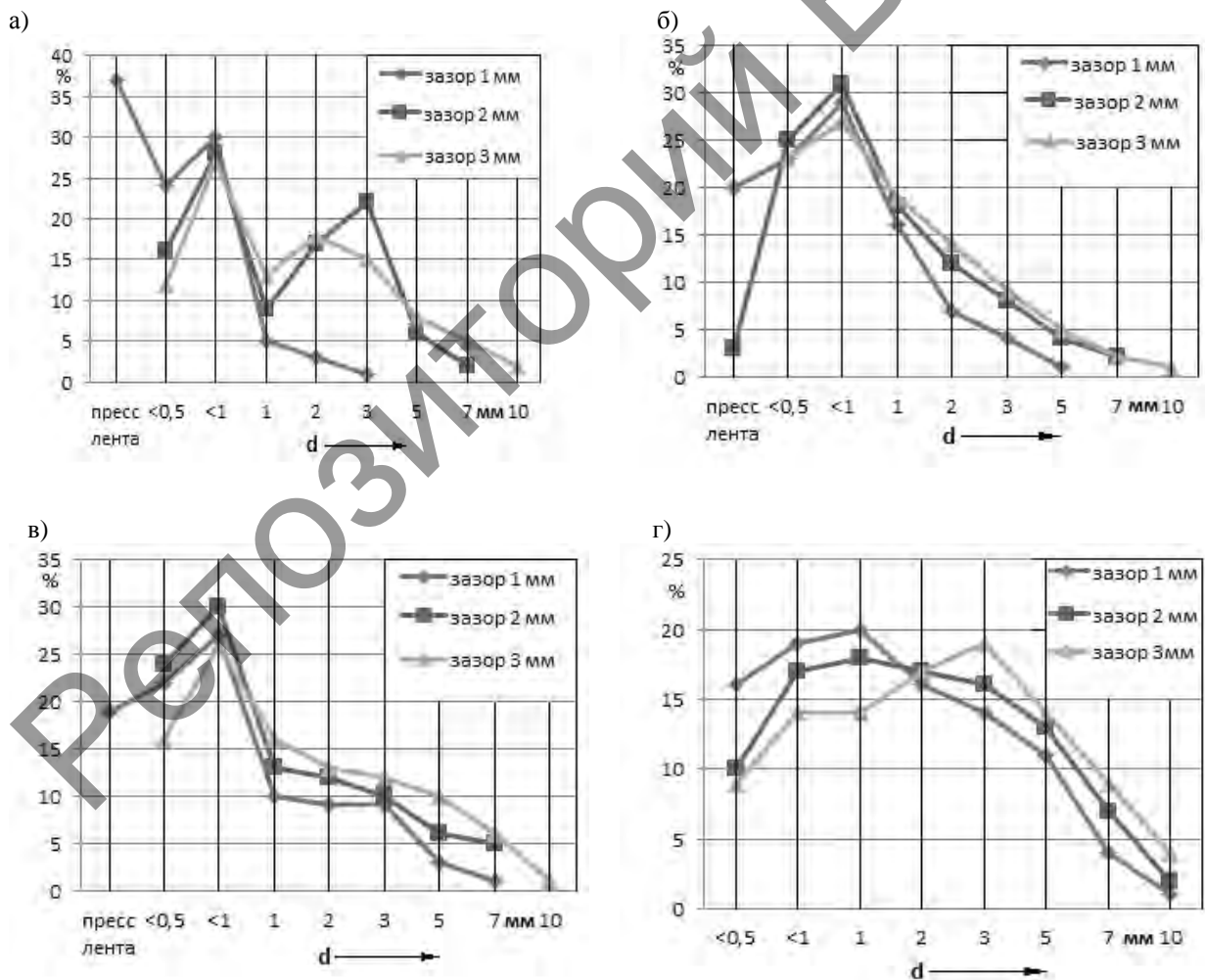


Рис. 4. Влияние величины зазора на процентное содержание продуктов измельчения при использовании гладких валков: а – эксцентриситет  $\gamma = 0$ ; б – эксцентриситет  $\gamma = 1$ ; в – эксцентриситет  $\gamma = 2$ ; г – эксцентриситет  $\gamma = 3$

Из графиков видно, что чем меньше зазор, тем предсказуемо больший объем фракций имеет размер меньше 1 мм, т. к. чем ближе расположены валки друг к другу, тем больше материал подвергается максимальному ударному и истирающему воздействиям. При наименьшем зазоре наблюдается переход материала из сыпучего состояния в пресс-ленту, что свойственно для валковых агрегатов. Увеличение значения эксцентриситета приводит к изменению

объемов выходной фракции от более мелкой к средней, что является положительным параметром для селективного измельчения. Наличие минимального количества фракции крупнее 6 мм связано с наличием в исходном продукте лещадных зерен.

Одним из возможных вариантов исполнения рабочего органа вибровалкового измельчителя является профильное исполнение валков (рис. 5).

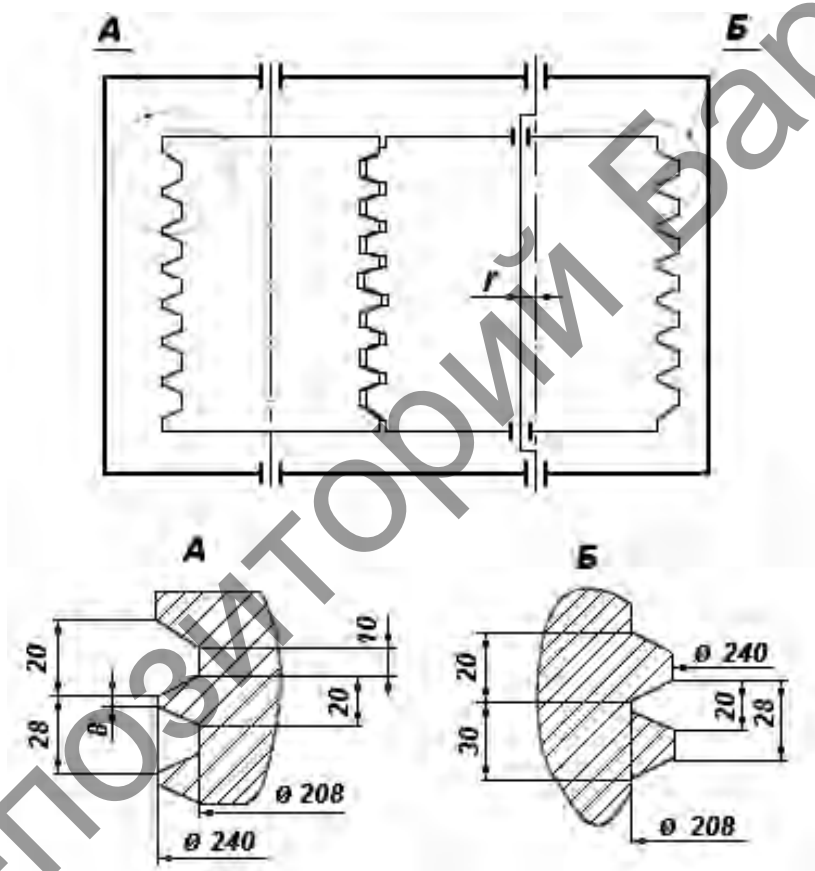


Рис. 5. Профильное исполнение валков: А – неподвижного; Б – подвижного

Такое исполнение валков имеет ряд преимуществ, таких как увеличение длины рабочей поверхности за счет формы профиля, увеличение истирающего эффекта между наклонными поверхностями профиля, к недостаткам же, в свою очередь, относятся увеличение возможности заклинивания при по-

падании недробимого материала, возникновение осевых усилий.

В табл. 2 приведены параметры размеров исходной фракции, производительности и потребляемой мощности измельчителя для различных значений межвалкового зазора в вибровалковом измельчителе с профильными валками.

Табл.2. Параметры ВВИ1

Зазор $b_{\min}$ , мм	Фракция $d_{\max}$ , мм	Производительность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	Мощность неподвижного вала $P_n$ , кВт	Мощность подвижного вала $P_n$ , кВт	Эксцентриситет $r$ , мм
1	13,7	0,256	0,397	0,312	1
2	14,7	0,384	0,427	0,389	1
3	15,8	0,511	0,434	0,384	1
1	14,7	0,384	0,397	0,312	2
2	15,8	0,511	0,434	0,384	2
3	16,8	0,639	0,440	0,379	2
1	15,8	0,511	0,397	0,312	3
2	16,8	0,639	0,440	0,379	3
3	17,9	0,767	0,445	0,375	3

Из табл. 2 видно, что изменение формы профиля ведет к увеличению суммарной мощности  $\Sigma P$  привода на 30 %, но, в свою очередь, производительность  $Q$  также увеличивается на 30 %.

Суммарная мощность привода измельчителя на холостом ходу составляет ~0,45 кВт, под нагрузкой – 0,7...0,9 кВт (за один проход).

Как и в предыдущем опыте, влияние зазора между валками и значения эксцентриситета на качество измельчения исследовалось при измельчении пенобетона. Зазор изменялся от 1 до 3 мм, значение эксцентриситета также изменялось от 1 до 3 мм. На рис. 6 представлены графические зависимости, отображающие влияние зазора и эксцентриситета на процентное содержание размера частиц продуктов измельчения при профильных валках.

Как и в первом эксперименте, где применялись гладкие валки, так и при

использовании профильных валков наибольший объем материала – это частицы размером меньше миллиметра. Однако остальная часть материала в первом приближении распределяется более равномерно.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Разработана конструкция вибровалкового измельчителя ВВИ1, обеспечивающая тонкое измельчение материалов при сравнительно низких удельных энергозатратах.

2. Экспериментально определена возможность повышения эффективности измельчения материалов минерального происхождения в измельчителях, совмещающих вибрационное и истирающее воздействия.

3. Проведенные исследования могут быть использованы для проектирования вибровалковых измельчителей промышленного назначения.

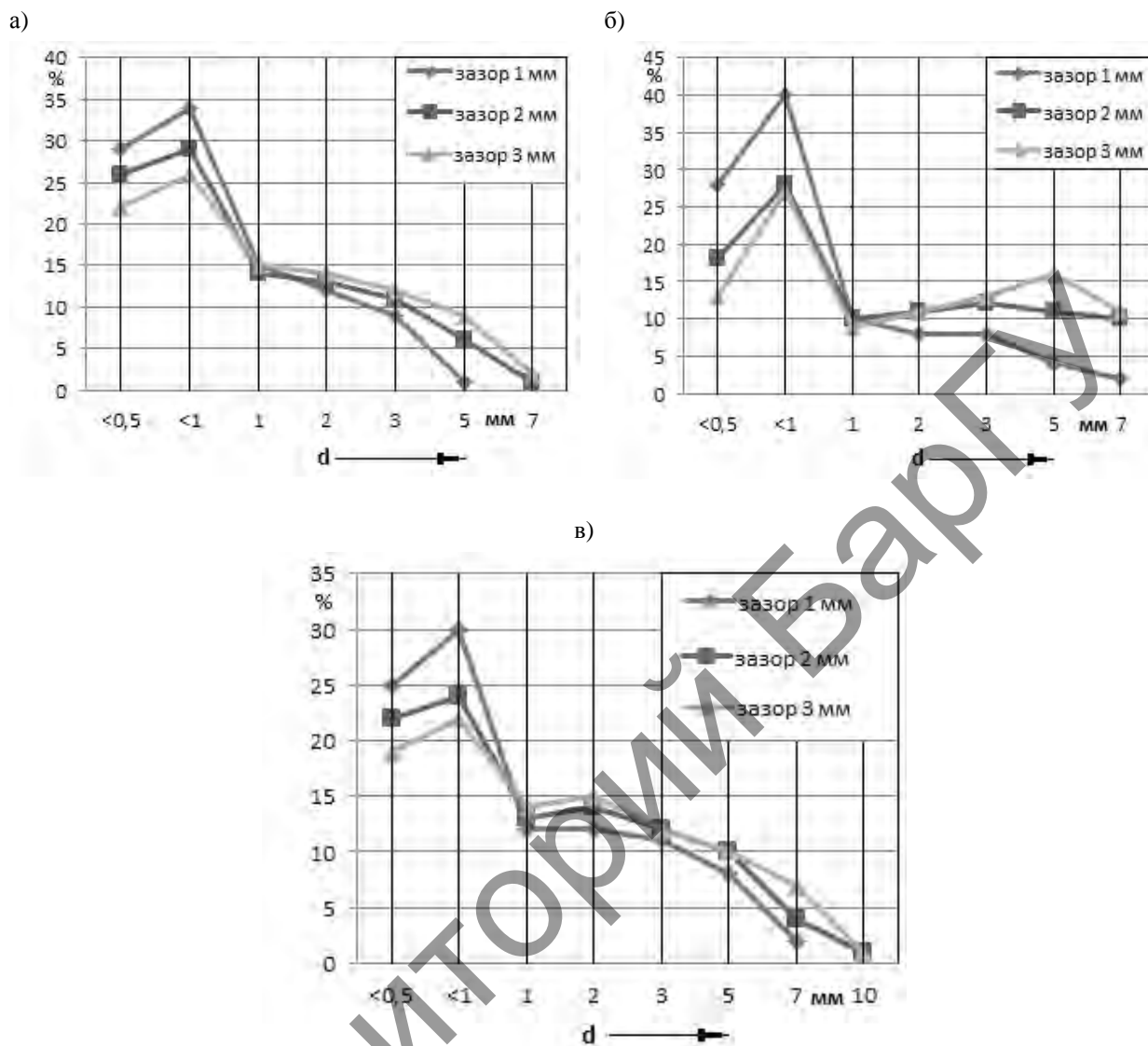


Рис. 6. Влияние величины зазора на процентное содержание продуктов измельчения при использовании профильных валков: а – эксцентриситет  $r = 1$ ; б – эксцентриситет  $r = 2$ ; в – эксцентриситет  $r = 3$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селективное разрушение минералов / Под ред. В. И. Ревнивцева. – Москва : Недра, 1988. – 287 с.
2. Богданов, В. С. Современные измельчители : характеристика и оценка для процесса помола клинкера / В. С. Богданов, В. З. Пироцкий // Цемент и его применение. – 2003. – № 4. – С. 10–15.
3. Хайнике, Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – Москва : Мир, 1987. – 584 с.
4. Сиваченко, Л. А. Вибровалковый измельчитель и основы его проектирования / Л. А. Сиваченко, И. А. Богданович, Л. Л. Сотник // Современные технологии и методы расчетов в строительстве : сб. науч. тр. – Луцк : Вежа-Друк, 2016. – Вып. 5. – С. 32–39.
5. Поникаров, И. И. Расчет машин и аппаратов химических производств и нефтепереработки (примеры и задачи) : учебное пособие / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. – Москва : Альфа-М, 2008. – 720 с. : ил.
6. Богданов, В. С. Процессы в производстве строительных материалов / В. С. Богданов, А. С. Ильин, И. А. Семикопенко. – Белгород : Везелица, 2007. – 512 с. : ил.

Статья сдана в редакцию 25 сентября 2017 года

**Леонид Александрович Сиваченко**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.  
Тел.: +375-447-92-86-83.

**Александр Николаевич Хустенко**, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.

**Леонид Леонидович Сотник**, ст. преподаватель, Барановичский государственный университет.

**Leonid Aleksandrovich Sivachenko**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University.  
Phone: +375-447-92-86-83.

**Alexander Nikolayevich Khustenko**, senior lecturer, Belarusian-Russian University.

**Leonid Leonidovich Sotnik**, senior lecturer, Baranovichi State University.

Репозиторий БарГУ