

*Л. А. Сиваченко, д-р техн. наук, проф.; О. В. Голушкова, канд. техн. наук, доц.; \*Н. В. Курочкин; Е. А. Шаройкина; А. П. Явенков*  
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
\*ЗАО «ЗАПАГРОМАШ», г. Минск

## НОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье проанализировано состояние промышленных технологий производства сырья и материалов. Предлагается использование ряда нового оборудования для производства строительных материалов.

### Введение

Вопросы развития технологического машиностроения [1–3] показывают актуальность этой сферы производственной деятельности и дают представление о реальных перспективах перевооружения промышленности, но не раскрывают путей их реализации. Суть современного этапа развития заключается не в эволюционных изменениях, а в смене технологических укладов.

Анализ состояния ряда промышленных технологий производства многих видов сырья и материалов показывает, что они не только очень затратны, но и крайне несовершенны. При этом возникает риторический вопрос: **“Чем обусловлено такое состояние и что делать?”**. Ответ на первую часть вопроса был дан в работе [1]. Ответ на вторую часть вопроса не может быть однозначным. По сути это целый комплекс взаимосвязанных положений, оценок и предложений.

Основу определяет алгоритм действий. Это последовательность следующего приоритета: сырье – технологии – базовое оборудование – технологический комплекс – производственная структура – готовый продукт. За этой простой с виду цепочкой функциональных позиций кроется сложный механизм, требующий учета всех явлений и закономерностей. Его основная идея – найти неизвестные ранее резервы и обеспечить их техническое воплощение.

В мире уже накоплен огромный массив технологических и технических решений, но их системное представление отсутствует. Особенно тяжелое положение с оборудованием для крупнотоннажных производств. Такое оборудование сложно моделировать, а тем более проводить апробацию новых технических решений, но основной преградой на пути перевооружения является нежелание производителей отказываться от выпуска металлоемких и дорогостоящих машин и осваивать производство новых, более совершенных, что грозит им спадом производства.

Правильное понимание методов и механизмов решения этой проблемы дает энерготехнологическая концепция национальной безопасности,

следствием которой является обоснование целесообразности и формирование новой отрасли промышленности – технологического машиностроения и реализация неиспользованных ранее резервов энерго- и ресурсосбережения.

### **Концепция и основные направления совершенствования технологического оборудования**

Базой для создания высокоэффективного оборудования может служить технологическая вибротехника, под которой следует понимать комплекс различных технологий, оборудования, методов расчета и управления, основанных на применении вибрационных и динамических воздействий при переработке сырья и материалов в промышленном производстве. Областью ее применения является дробление и помол, смешивание, гранулирование, уплотнение, классификация, сушка, механоактивация и множество других процессов, являющихся самыми объемными и затратными в структуре современной промышленности.

Уникальность существующих методов вибротехники обусловлена широтой кинематических возможностей, повышенной энергонапряженностью, простотой приводного механизма, малой металлоемкостью и, что особенно важно, созданием особых условий проведения рабочих процессов. К их числу следует отнести: эффект тиксотропного «разжижения» структуры дисперсного материала, переориентации зерен твердых частиц, снижение трения между ними, концентрации энергии и выброс её в виде кратковременного импульса, управление потоками движения дисперсных сред.

Следствием этих эффектов и закономерностей является чрезвычайно высокая технологическая эффективность применения методов вибротехники в промышленном производстве. Например, существующая технология приготовления бетонных смесей и работа с ними практически полностью производится с применением вибрационных машин, наиболее эффективными агрегатами для дробления особо прочных пород являются конусно-инерционные дробилки, а для устройства свайных фундаментов широко используются вибропогружатели.

Важным конъюнктурным фактором, определяющим самое широкое использование вибрационных машин в технологических процессах переработки веществ, является высокий уровень современной вибрационной механики, наличие большого числа высококвалифицированных специалистов и научных школ и необходимая степень готовности выполненных, но, к сожалению, разрозненных разработок многоцелевого назначения [4].

Особого внимания заслуживают перспективы распространения методов технологической вибротехники на процессы переработки дисперсных материалов, которые ранее осуществлялись традиционными методами, причем для многих применений необходимо создавать принципиально но-

вое оборудование. По нашему мнению, даже такие уникальные агрегаты, как трубная шаровая мельница или вращающаяся печь могут быть заменены вибрационными машинами, кардинально отличающимися от известных.

Из достаточно простых в техническом отношении направлений практической реализации технологической вибротехники можно считать следующие:

- совмещение в одном агрегате нескольких функций, например, измельчения и сушки; помола и смешивания; сушки в условиях пневмотранспорта, классификации и обогащения; помола и сепарации; механоактивации и уплотнения и т. д.;

- разработка и реализация адаптивных методов переработки дисперсных материалов, обеспечивающих приспособление рабочего оборудования к свойствам обрабатываемых продуктов, например, на основе повышенной деформационной способности рабочих органов или их больших степенях свободы движения;

- выполнение рабочих органов в качестве собственно виброизлучателей, осуществляющих непосредственное воздействие на обрабатываемый материал – пружин, рессор, щёток, стержней, пластин, отрезков канатов, проволоки, оболочек и т. д.

Ниже представлены варианты оборудования, в основу которых положен принцип технологической вибротехники.

Рыхлитель роторно-стержневой. Рыхлитель, представленный на рис. 1, предназначен для рыхления и измельчения влажных рыхлых пород, негабаритов, смерзшегося песка, удаления крупных включений, подготовки исходного материала для последующего грохочения и обогащения. Рыхлитель представляет собой бункер 1 для поступления на переработку влажного кускового материала, ротор 2 с резцами 3 установленный в подшипниковых опорах, под небольшим углом по направлению вращения, привод 4 и лоток 5 для сброса не дробимых включений.

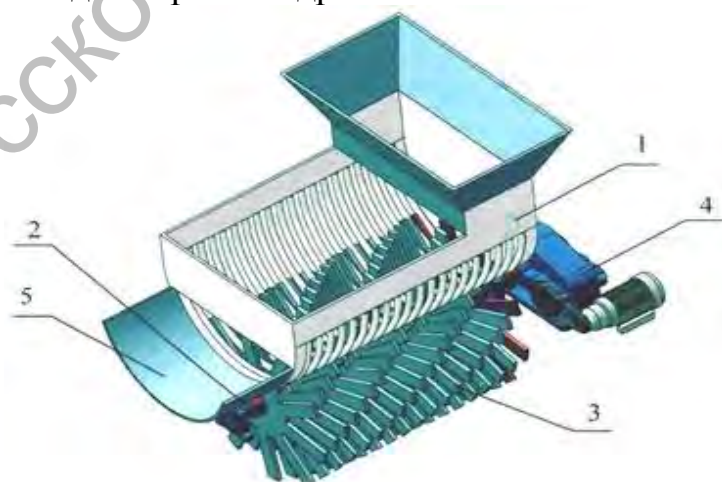


Рис. 1. Рыхлитель роторно-стержневой

Работает рыхлитель следующим образом. Материал питателем подается в емкость рыхлителя и попадает на колосниковую решетку. Конструкция колосниковой решетки выполняет функции предохранительного устройства, а ее возможный наклон под углом  $5...7^\circ$  к горизонту дает возможность удалять посторонние не измельчаемые включения. Вращающиеся резцы срезают материал с поверхности колосниковой решетки и продавливают его через нее. Полученный таким образом материал поступает на дальнейшую переработку.

Универсальность и простота конструкции позволяет производить процесс рыхления и измельчения, эффективно обрабатывать различные материалы без перенастройки. Самоочищающийся рабочий орган прост в обслуживании и при необходимости легко перенастраивается. Необходимая мощность привода рыхлителя для переработки материала карьерной влажностью 20–26 % при производительности 50 т/ч составляет 25–30 кВт.

Рыхлитель речный. В речном рыхлителе (рис. 2) рабочий процесс обеспечивается встречным движением зубчатых реек, зубья которых полойно срезают частицы крупнокускового материала, загруженного в бункер. Разработаны различные варианты такого агрегата, в том числе с удалением крупных каменных и не дробимых включений.

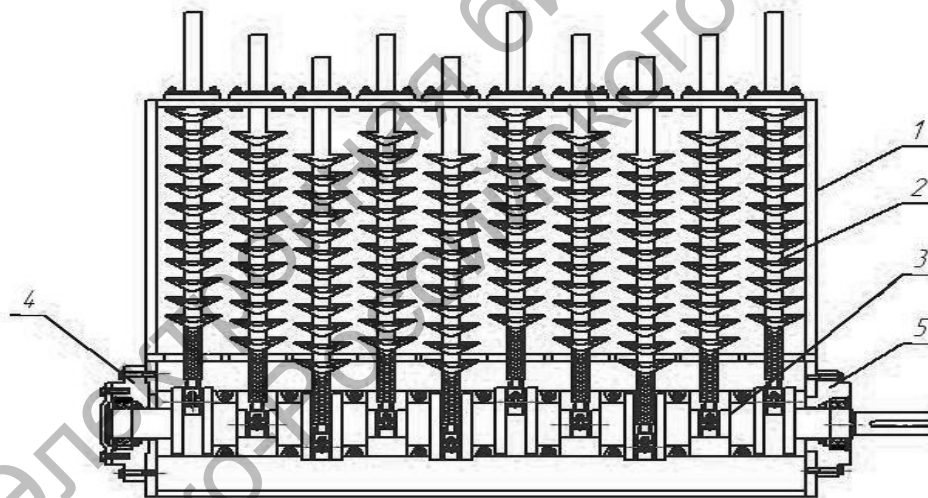


Рис. 2. Рыхлитель речный: 1 – бункер; 2 – зубчатая рейка; 3 – эксцентричный вал; 4,5 – опоры

Дробилки ударного действия. Молотковая дробилка с вертикальным ротором (рис. 3) состоит из корпуса цилиндрической формы, ротора с закрепленными на нем ударными элементами, привода и устройств для загрузки исходного и выгрузки измельченного продукта. Дробилка способна измельчать материалы начальной крупностью до 100 мм, прочностью до 100–120 МПа и влажностью до 17–18 %. Крупность измельчаемой фракции менее 3–5 мм. Данный аппарат обладает широким типоразмерным рядом (диаметр корпуса может достигать 1500 мм) и значительно отличаться по компоновке и виду ударных элементов в зависимости от технологиче-

ского назначения. Эти дробилки позволяют эффективно измельчать бой кирпича, отходы бетона, глину, мрамор, известняк, древесину, стеклобой, шлак, различные спеки, песчаник и т. д., обеспечивает качественное микро смешивание усредненных композиций и их механоактивацию. Конструкция проста и удобна в работе.

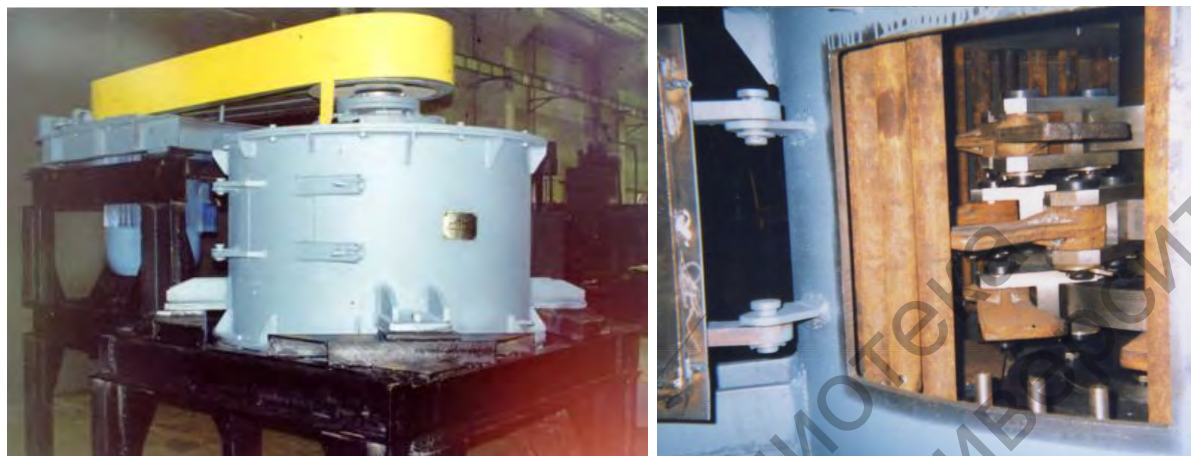


Рис. 3. Молотковая дробилка с вертикальным ротором

Молотковая дробилка с наклонным корпусом (рис. 4), содержит цилиндрический корпус с загрузочным и выгрузочным устройствами, установленный на жесткой раме под углом к горизонту, привод и ротор с шарнирно закрепленными на нем ударными элементами, секции которых образуют между собой свободные зоны. Кроме того, в корпус возможно дополнительно установить патрубки, которые могут применяться для подачи в камеру дробления дополнительных компонентов, для своевременного вывода из камеры дробления целевой фракции и для подачи в камеру дробления охлаждающего или теплового газового агента.



Рис. 4. Молотковая дробилка с наклонным корпусом

Использование данной дробилки за счет выполнения отдельных секций рабочего оборудования и установки корпуса под углом к горизонту

обеспечивает целенаправленное управление закономерностями процесса разрушения обрабатываемого материала. Это, в свою очередь, способствует стабилизации зернового состава продуктов измельчения, снижению энергопотребления за счет минимизации трения между торцами бил и внутренней поверхности корпуса, а также проведению селективного измельчения, что чрезвычайно важно для обогащительных процессов.

Дробилки с вертикальным корпусом разработаны более 20 лет назад и к настоящему времени насчитывают более 7 типоразмеров с диаметрами рабочей камеры от 0,4 до 1,5 м и производительностью от 0,1 до 100 т/час. Всего изготовлено около 100 таких дробилок, которые используются при переработке силикатных масс, фрезерного торфа, известняков, угля, фуражного зерна, глины, гранитного отсева, золотоносной руды и др. материалов. Их технические характеристики на 30–50 % превышают показатели аналогичного оборудования.

Стержневая вибрационная мельница. В рабочей камере мельницы (рис. 5) на качающейся под действием виброинерционного привода платформе встроена кассета дугообразно изогнутых стержней или рессор. Разрушение материала исходной крупностью до 50 мм происходит в серповидных пространствах между основанием лотка и стержнями. Агрегат может измельчать материалы любой прочности. Он не имеет мировых аналогов. В настоящее время ведутся работы по созданию на базе такой установки промышленного аппарата для измельчения цементного клинкера производительностью 50–75 т/час.

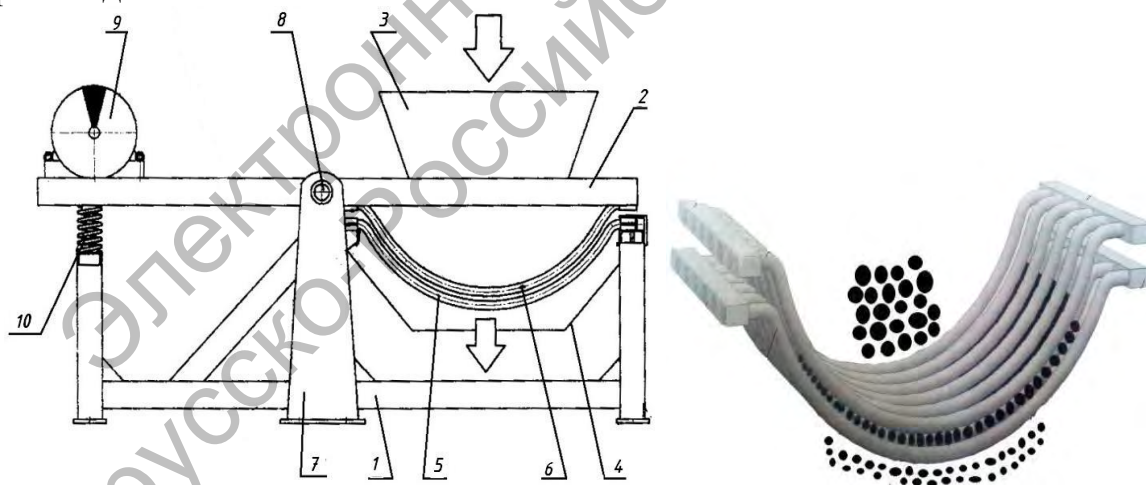


Рис. 5. Стержневая вибрационная мельница: 1 – рама; 2 – платформа; 3 – патрубок для загрузки; 4 – патрубок для выгрузки; 5 – неподвижная кассета стержней; 6 – подвижная кассета стержней; 7 – стойка; 8 – ось; 9 – вибратор; 10 – возвратный механизм.

Грохот вибрационный пружинный. Принципиальная схема пружинного грохота изображена на рис. 6, а вариант его практической реализации – рис. 7.

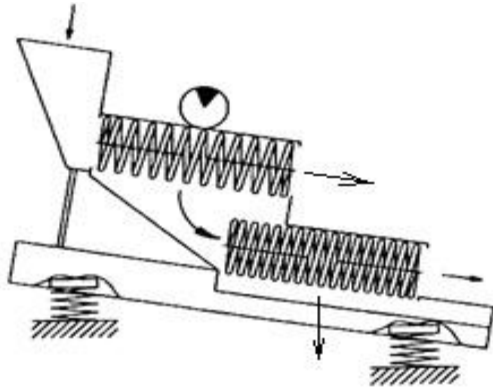


Рис. 6. Принципиальная схема пружинного грохота



Рис. 7. Пружинный грохот промышленного назначения

Просеивающей поверхностью грохота является пружина, связанная с механизмом колебаний. Подлежащий разделению материал загружается в полость пружины, где под действием вибрации мелкая (подрешетная) фракция просыпается через зазоры между витками, а крупная (надрешетная) выводится через нижнее отверстие полости пружины. Граница разделения регулируется изменением зазора между витками и находится в диапазоне 0,5–5,0 мм. Агрегат способен работать на материале влажностью 3–8 % с эффективностью разделения 85–96 %. Изменением зазора между витками пружины обеспечивается получение требуемой границы разделения и компенсируется их износ.

Пружинная мельница. Принципиальная схема пружинной мельницы и механизм разрушения рабочим органом представлены на рис. 8 и 9.

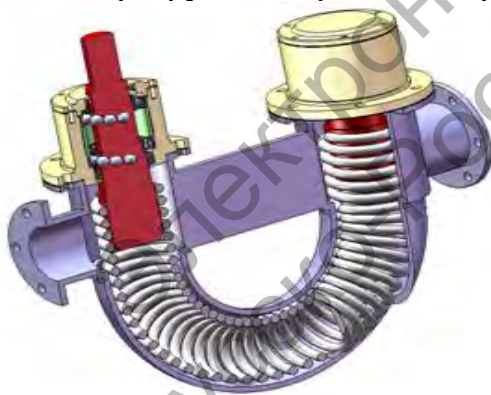


Рис. 8. Принципиальная схема пружинной мельницы

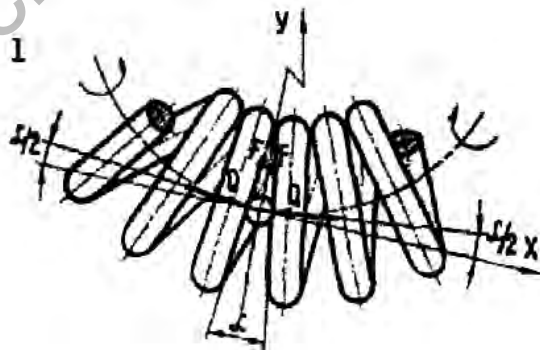


Рис. 9. Механизм разрушения материала

В самом общем виде такой аппарат представляет собой установленную в опорах вращения изогнутую пружину, связанную с приводом и помещенную в рабочую камеру с обрабатываемым материалом. Разрушение материала происходит в сходящихся клиновых пространствах между витками. Пружинные мельницы отличаются чрезвычайным конструктивным многообразием, защищены 150 изобретениями. Таких аппаратов насчитывается около 800 единиц с более 60 различных технических решений и производительностью от 1 кг до 50 тонн в час. Такие машины перспектив-

ны для тонкого помола и диспергирования материалов твердостью до 5–6 по шкале Мооса, механоактивации строительных смесей, приготовления композиций различных веществ. Одна из таких установок – смеситель-активатор и пример монтажа в ней рабочего оборудования изображены на рис. 10 и 11.

Смеситель-активатор содержит наклонный желобчатый корпус, в котором последовательно друг за другом установлены дугообразно изогнутые вращающиеся пружины, концы которых смонтированы в подшипниковых опорах.



Рис. 10. Общий вид смесителя-активатора



Рис. 11. Монтаж рабочего оборудования

Аппарат обеспечивает домол, смешивание и механоактивацию исходных компонентов. Производительность по проходу составляет 25–50 т/час.

Игольчатый измельчитель. Для измельчения волокнистых материалов органического происхождения можно использовать игольчатый измельчитель. Схема рабочего органа такого аппарата и его исполнение даны на рис. 13 и 14. Идеологией его создания является выполнение рабочих элементов в виде стержней (иголок), закрепленных на роторе, торцы которых обладают повышенной виброактивностью и имеют рельефные рабочие поверхности.

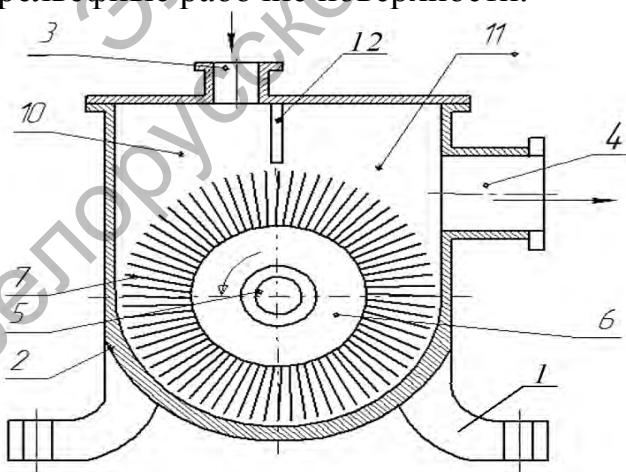


Рис. 12. Схема игольчатого измельчителя



Рис. 13. Общий вид игольчатого измельчителя



Игольчатый измельчитель включает в себя основание 1, камеру для обработки материала 2 с устройствами для загрузки 3 и выгрузки 4 материала и установленным в ней с возможностью вращения ротором 5 с рабочим органом 6, оснащенный игольчатыми элементами 7. Ротор 5 установлен в опорах и через муфту связан с приводным электродвигателем. Зоны входа 10 и выхода 11 материала из рабочего пространства, где происходит процесс измельчения разделены перегородкой 12.

Агрегат для сушки минеральных материалов. Улучшение условий теплопередачи обеспечивается за счет выполнения рабочих поверхностей в виде пакетов пружин, образующих зигзагообразные трассы движения материала. Вся конструкция представленная на рис. 14 монтируется в коробе, установленном на упругих опорах с возможностью виброколебаний. Система работает по принципу кипящего слоя в режиме противотока с подачей газового агента в нижнюю часть короба. Наиболее целесообразно данный агрегат использовать для сушки и разделения минеральных материалов на асфальтобетонных заводах.

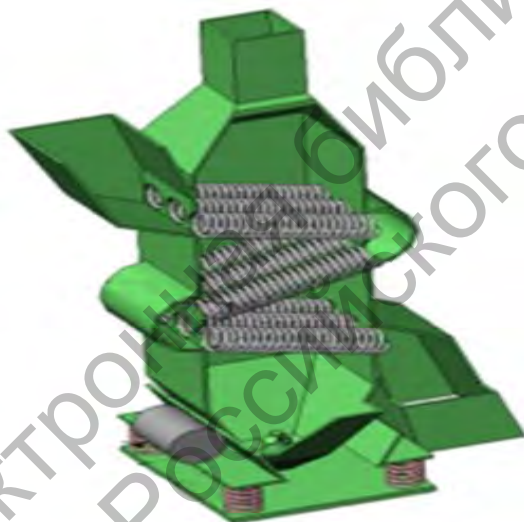


Рис. 14. Агрегат для сушки минеральных материалов

Агрегат способен работать с высокими удельными показателями сушки. Для ряда продуктов, например глины, можно организовать режим обогащения или классификации.

Виброуплотнитель строительных смесей. С его помощью повышение эффективности уплотнения достигается путем выполнения виброизлучателя в виде упругого элемента, например, пружины. На рис. 15 изображен виброуплотнитель, где в качестве привода используется перфоратор, боек которого приводит в колебательное движение свободный конец пружины. Второй конец пружины жестко связан через штанги с корпусом перфоратора. Может работать как в режиме штыкования, так и в режиме протяжки, в т. ч. и при наборе излучательных элементов в кассеты. Возможен целый ряд конструктивных исполнений, в т. ч. на базе электроперфоратора, вибратора с гибким валом или на крановом подвесе.



Рис. 15. Виброуплотнитель на базе электрического перфоратора

Пружинная мельница для сверхтонкого помола. Основным фактором, определяющим предельную тонину помола большинства материалов являются максимальные удельные контактные напряжения в зоне разрушения и минимальные размеры мелющих тел, что выражается обобщенным параметром – энергонапряженностью процесса.

Осуществить подобную задачу можно на примере пружинной мельницы с мелющей загрузкой в виде мелких шариков диаметром 0,05–0,5 мм. В отличие от традиционных механизмов измельчения между витками на мелющих телах реализуются повышенные контактные напряжения, чем обеспечивается сверхтонкий помол.

Пружинная мельница, схема и общий вид которой изображены на рис. 16 и 17, содержит электродвигатель 1, муфту 2, рабочую камеру 3 в которой на опорных валах 4 посредством узлов крепления 5 смонтирован дугообразно изогнутый пружинный рабочий орган 6, а для загрузки и выгрузки материала предусмотрены патрубки 7, 8.

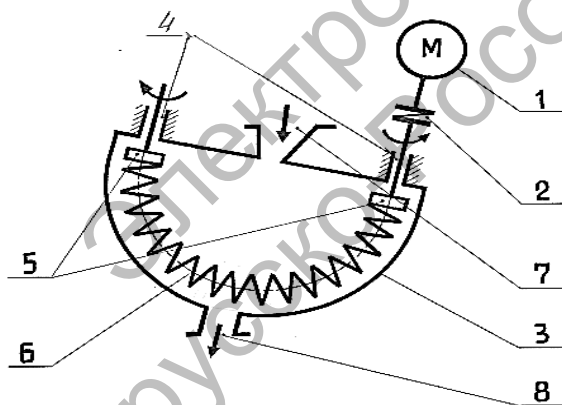


Рис. 16. Схема пружинной мельницы для сверхтонкого помола

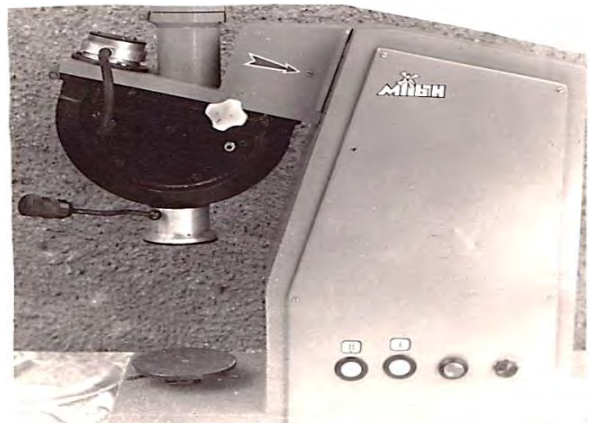


Рис. 17. Общий вид пружинной мельницы для сверхтонкого помола

Работа мельницы производится при заполненной камере 3 исходным материалом, который также содержит от 10 до 50 % по загрузке мелющих тел. При включенном двигателе 1 рабочий орган 6 приводится во вращение и производит разрушение материала как между собственно витками пружины, так и с заклиниванием между ними мелющих шариков. Мелющие тела могут отделяться от обработанного продукта как посредством

сетки, помещаемой в выгрузочный патрубок 8, так и на отдельном посту после выгрузки из аппарата всей находящейся в нем загрузки. Мельница предназначена для работы преимущественно по мокрому способу.

Описанные виды оборудования защищены 250 авторскими свидетельствами и патентами, к настоящему времени изготовлено около 900 единиц дробилок, мельниц, смесителей, грохотов, диспергаторов и других агрегатов, которые используются в различных отраслях промышленности, в НИИ и лабораториях. Кроме представленных аппаратов нами разработаны также питатели, грануляторы, распылительные сушилки, струйные мельницы, механизированный инструмент, системы энергосбережения, установки для упрочнения древесины, комплексы для производства шифера с полимерным покрытием и др.

Использование разработанных дробилок, грохотов и мельниц наиболее эффективно в составе технологических комплексов. Такие комплексы разработаны для помола цемента, приготовления сырьевых смесей, производства ряда порошков, суспензий, композиций, криогенного получения полимерных порошков, обогащения полезных минералов, регенерации формовочных смесей, измельчения минерального сырья по мокрому способу, активации вяжущих и заполнителей, диспергирования лакокрасочных материалов и др.

Разработанное оборудование и технологии на их основе могут найти широкое практическое применение, для этого необходима организация централизованных производств, что позволит создать высокопроизводительные, эффективные и надежные машины для различных отраслей народного хозяйства и способных вытеснить на рынке изделия западных фирм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические аппараты адаптивного действия / Л. А. Сиваченко [и др.] // Изд. центр БГУ, Минск, 2008. – 375 с.
2. **Сиваченко, Л. А.** Дробилки ударного действия / Л. А. Сиваченко, Д. В. Михальков, Д. В. Михальков // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 11. – С. 27–31.
3. **Сиваченко, Л. А.** Вибрационные пружинные мельницы / Л. А. Сиваченко, Д. М. Хононов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2006. – 89 с.
4. **Сиваченко, Л. А.** Основные положения совершенствования дезинтеграторных технологий / Л. А. Сиваченко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – №4. – С. 95–106.