

В.П. ФРАНЧУК, д-р техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Національний горний університет),

В.П. НАДУТЫЙ, д-р техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, інститут геотехнічної механіки НАН України),

А.І. ЕГУРНОВ, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, ЗАО "АНА-ТЕМС")

РАЗВИТИЕ ШКОЛЫ ВИБРАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В ДНЕПРОПЕТРОВСКОМ РЕГИОНЕ

Основываясь на новых научных и конструкторских разработках, связанных с модернизацией существующих вибромашин и созданием машин нового технического уровня, в последние годы предложены технические решения, которые из-за отсутствия отраслевых и межотраслевых координационных технических совещаний не получили необходимой оценки специалистов. В настоящей работе речь идет об истории возникновения и разработках, которые выполнены продолжателями вибрационной школы академика В.Н. Потураева за последние годы в области вибротехники.

Целью работы является привлечение широкого круга научных работников и производственников к оценке выполненных работ и сотрудничеству, конкретизации задач по созданию технических решений для проблемных участков технологий горно-металлургического комплекса.

Начало развитию направления по разработке методов расчета, созданию и внедрению вибрационной техники в горной промышленности в Днепропетровске положил В.Н. Потураев. Ученик специалиста в области динамики тяжелых машин, академика С.Н. Кожевникова, он с успехом защитил кандидатскую диссертацию по динамике прокатных станов и перешел на работу доцентом кафедры деталей машин Днепропетровского горного института.

Естественно, в горном институте необходимо было заниматься горными машинами. Так в Днепропетровском горном институте появилось только-только зарождающееся в мире направление – создание резонансных грохотов для угольной промышленности. Идея получила поддержку и совместно с конструкторами СКБ завода была разработана конструкция (рис. 1) экспериментального образца двухмассного резонансного грохота и, после успешных его испытаний в цехе обогащения Днепропетровского коксохимзавода (ДКХЗ), приступили к созданию трехмассного грохота с линейной характеристикой восстанавливающей силы упругих связей. Два таких грохота (ГРО-1) на ДКХЗ с успехом заменили 30 качающихся грохотов типа "Ферарис" при обезвоживании мелкого угля. Однако грохот был чувствителен к изменению технологической нагрузки, поэтому грохоты данного типа были переведены на режим работы по двухмассной схеме, а затем разработана конструкция двухмассного грохота ГРО-82 с тяжелой рамой, который отличался большей стабильностью работы при изменении технологической нагрузки.

Загальні питання технології збагачення

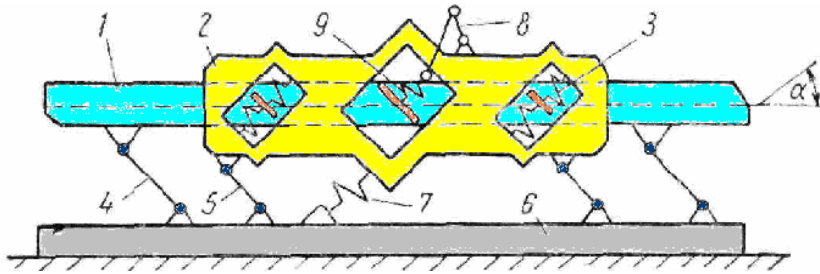


Схема первого отечественного резонансного грохота:

- 1 – короб; 2 – рама; 3 – упругие элементы; 4, 5 – направляющие; 6 – основание;
7 – опорные амортизаторы; 8 – эксцентриковый привод; 9 – упругая связь привода

Дальнейшее увеличение стабильности колебаний грохота получается за счет применения упругой системы с нелинейной характеристикой восстанавливающей силы. В результате появилась конструкция двухмассного грохота с тяжелой рамой и кусочно-линейной характеристикой восстанавливающей силы основных упругих связей ГРК-82. Позже появились модификации резонансных грохотов, таких как двухкоробной уравновешенный с облегченной рамой типа ГРД, безрамный резонансный грохот типа ГРБ и т.п. В создании конструкций помимо ученых ДГИ, затем ДПИ, ведущую роль сыграли конструкторы завода им. Пархоменко, Механобр (г. Ленинград) и ряд других организаций.

Успехи в создании вибрационных грохотов послужили основой для плодотворного сотрудничества с предприятием М-5703 (г. Москва) по созданию вибрационного оборудования для переработки урановых руд, Механобр (г. Ленинград) при создании вибрационных щековых дробилок, с предприятиями Минчермет Украины и другие. Из небольшой лаборатории динамики машин коллектив вырос до отраслевой лаборатории Минчермет Украины с большим штатом научных сотрудников и конструкторов. Были самостоятельно созданы ряд конструкций вибрационных машин, таких как вибрационный конвейер для горячих материалов, вертикальный вибрационный конвейер для организации замкнутого цикла дробления руд, вертикальная вибрационная мельница и вибрационная щековая дробилка для измельчения материалов, применяемых в порошковой металлургии, уравновешенный вибрационный колосниковый грохот-перегрузатель конвейерных линий, обеспечивающий предохранение ленты конвейера от падающих крупных кусков руды и подсыпку мелких фракций перед подачей на нее крупных кусков.

Создание грохотов с большой площадью рабочей поверхности, кроме разработки методов расчета динамики таких систем [1], потребовало решения ряда сопутствующих задач. К ним, в первую очередь, следует отнести упругие элементы, играющие определяющую роль в обеспечении резонансного режима работы грохота и вопросы прочности, связанные с увеличением габаритов рабочих органов и нелинейным характером нагружения конструкции.

Разработка качественно новых типов упругих элементов – одна из важнейших задач, стоявших в 50-е годы прошлого столетия. Применявшиеся в качестве упругих элементов стальные рессоры и витые цилиндрические пружины

Загальні питання технології збагачення

не отвечали своему назначению вследствие малых гистерезисных потерь и непредсказуемости работоспособности (мгновенный выход из строя при поломке). Стал вопрос о замене стали другими материалами. Перспективными оказались древесно-слоистые пластики и резина.

В те годы резина в качестве конструкционного материала, кроме автомобильной промышленности, еще не получила широкого распространения. Тем более для тяжело нагруженных упругих элементов вибрационных машин резонансного типа. Потребовался комплекс исследований по определению упругих и диссипативных характеристик резиновых и резинометаллических упругих элементов, обеспечения стабильности их характеристик, в том числе и при воздействии радиации. Для выполнения этой задачи были привлечены научные силы ряда организаций, таких как НИИРП (г. Москва), Курский завод РТИ, институт им. Курчатова, предприятие М-5703 (г. Москва) и ряда других.

Глубокое изучение параметров позволили выявить ряд уникальных свойств резины [2], благодаря чему она нашла применение не только в качестве упругих элементов резонансных машин, но и качестве амортизаторов тяжелого динамически нагруженного горно-металлургического оборудования, футеровок питателей для вибрационного выпуска руды, барабанных и вибрационных мельниц [3].

По мере углубления знаний о вибрационной технике, расширялась и номенклатура оборудования для выполнения технологических операций, в которых наличие вибраций приводит к положительным эффектам. Разработаны вибрационные щековые дробилки, вертикальные вибрационные мельницы, работающие в виброударном режиме, для дробления, измельчения прочных и абразивных материалов, таких как материалы порошковой металлургии, конструкционная керамика, синтетические алмазы и т.п. Использование вертикальных вибрационных мельниц, работающих в виброударном режиме, позволило получить материалы с новыми технологическими свойствами, как, например, объемная механоактивация, значительно улучшающая процесс разделения материалов методом флотации, получение материалов для фильтров очистки дымовых газов электростанций от SO_2 на основе железной руды. Большой интерес представляет повышение прочности изделий из карбидостали при совместном помоле материалов, восстановление свойств известняков, применяемых для очистки сахара, получение высокочистых материалов для изготовления конструкционной керамики и ряда других материалов.

Разработаны комплексы вибрационного оборудования для выполнения различных технологических операций. Так для обеспечения замкнутого цикла дробления железных руд комплекс включает вертикальный вибрационный конвейер, вибрационный грохот. Комплекс вибрационного оборудования для криогенной переработки отходов кабеля и проводников тока состоит из вибрационного питателя-охладителя, вибрационной щековой дробилки, вибрационного грохота для отделения измельченной изоляции.

По мере развития направления все больше организаций вовлекаются в создание вибрационной техники. В Днепропетровском регионе направление виб-

Загальні питання технології збагачення

рационной техники получило свое развитие в Национальном горном университете, Институте геотехнической механики НАН Украины, Днепропетровском национальном университете, ЗАО "АНА-ТЕМС" (Днепропетровск), УКРНИИПРОМТЕХНОЛОГИЯ (Желтые Воды), в Криворожском отделении металлургической академии.

Расширилась номенклатура вибрационного оборудования для горно-металлургической и других отраслей промышленности, в первую очередь в виде грохотов различного назначения, питателей-грохотов, вибрационных вертикальных и горизонтальных сушилок, комплекса оборудования для подготовки и транспортирования твердеющих закладочных смесей в выработанное пространство рудных шахт и т.п.

Учитывая большие преимущества при использовании резины для изготовления рабочих поверхностей грохотов и запросы промышленности, расширена номенклатура сит, как по конструкции, так и по классам крупности. В настоящее время отработаны технология и оснастка для сит по крупности разделения от 0,5 до 80,0 мм. Причем, сита изготавливаются двух типов: по заказам предприятий: в виде резиновых карт и в виде резонирующих ленточно-струнных (РЛСС) наборных поверхностей для всех типов грохотов.

В развитие этих работ на основе сит РЛСС созданы виброгрохоты для мелкой и тонкой классификации (от сорока микрон и выше), которые хорошо себя зарекомендовали при классификации угольных пульп на шламохранилищах, при переработке хвостохранилищ обогатительных фабрик ГОКов и отвальных шлаков металлургических заводов [4]. Они позволили повысить эффективность грохочения сухих материалов и пульп, а также обеспечить их дополнительное обезвоживание. Область их использования расширяется в схемах переработки мела, кварцевого песка, известняков, доломитов, гранитного отсева и т.д. Параллельно получила развитие теория по грохочению влажных материалов с учетом капиллярных явлений в слое горной массы на сетке грохота, где сосредоточена основная масса трудно извлекаемой влаги [5-7].

Проблемным вопросом остается вибрационное грохочение влажных и липких материалов, особенно мелких классов крупности. В этом случае интенсификация вибрационного режима грохотов серийного производства не дает желаемых результатов повышения эффективности. Для решения этой проблемы создан в ИГТМ НАН Украины валковый вибрационный грохот, который прошел стадию лабораторных испытаний и в настоящее время полноразмерные образцы такого грохота проходят промышленные испытания на ряде предприятий. Уникальность конструкции заключается в отсутствии трансмиссий в виде редукторов, муфт, ремней, цепей и т.д., поэтому в сравнении с мировыми образцами мощность его привода по удельным показателям в 8-10 раз меньше, а масса – в 3-5 раз [8]. К настоящему времени разработана и теоретическая база для обоснования параметров таких грохотов [9].

Эксперименты показывают, что для классификации мелких трудно грохотимых материалов перспективными являются грохоты с пространственными колебаниями рабочей поверхности, а для разделения по крупности тонкодис-

Загальні питання технології збагачення

персных материалов (по 50...10 мкм), не склонных к агрегированию, были разработаны виброадгезионные классификаторы, разделение материала в которых осуществляется на неперфорированных поверхностях.

Для комплексной переработки медьсодержащего базальтового сырья разработана специальная конструкция внутривалковой конусной мельницы вибрационного типа. Необходимость в разработке такой мельницы возникла при исследовании вещественного состава базальтового месторождения, содержащего самородную медь в виде мелких и крупных дендритных включений. В этом случае в процессе рудоподготовки обычными методами дробления и измельчения происходит переизмельчение самородков меди, что приводит к дополнительным операциям при ее извлечении. В разработанных конструкциях мельниц происходит скатывание самородков без разрушения, что облегчает их сепарацию.

Большое внимание в разработках уделено созданию различных полимерных конструкций для горных машин. Разработаны методы расчетов конструктивных, силовых параметров и долговечности резиновых деталей различного назначения. Отработаны технология и оснастка для их изготовления, и в настоящее время выполняются заказы как для оснащения вибрационных машин в виде амортизаторов, сит, футеровок, так и для других динамически нагруженных машин, работающих с большим объемом абразивной горной массы. Например, успешно эксплуатируются установленные на резиновые опоры окомкователи, конусные и щековые дробилки, высокопроизводительные питатели и т.д. В настоящее время освоена технология изготовления резинокордных диафрагм для вакуум-фильтров [10].

Выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований по обезвоживанию горной массы вибрационным, диффузионным и вакуумным методами. Задача ставится по обезвоживанию не свободной жидкости в слое, а капиллярной, наиболее трудно извлекаемой из-за большого влияния сил вязкости жидкости, когда дренажный эффект истечения жидкости в слое проявляется намного сложнее, чем при свободном истечении [11]. В настоящее время установлены общетеоретические закономерности равновесного состояния в капиллярах, замкнутых на классифицирующую сетку, поскольку рассматривается система обезвоживания с одновременным извлечением мелких частиц через сито [12].

Приведенный перечень вибрационного оборудования показывает достаточно большой перечень технологических операций, связанных с переработкой полезных ископаемых, который выполняется с его использованием. Параметры приведенного оборудования, обеспечивающие рациональное протекание технологического процесса, теоретически обоснованы и подтверждены экспериментально в лабораторных и промышленных условиях.

Список литературы

1. **Потураев В.Н., Франчук В.П., Червоненко А.Г.** Вибрационные транспортирующие машины (основы теории и расчета). – М.: Машиностроение, 1964. – 272 с.
2. **Потураев В.Н.** Резиновые и резино-металлические детали машин. – М.: Машиностроение, 1966. – 299 с.

Загальні питання технології збагачення

3. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц. Кременчуг-Комсомольск: / **В.П.Франчук, В.А. Настоящий, А.Е. Маркелов и др.** – 2008. – 382 с.

4. **Надутьй В.П., Нагорский А.Ф., Шевченко А.И.** Тонкое вибрационное грохочение при переработке угольных шламов / Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Вып. 58. – Днепропетровск. – 2006. – С. 185-190.

5. **Надутьй В.П., Эрперт А.М., Хмеленко И.П.** Оптимизация процесса вибрационной классификации угольных шламов // Всеукр. науч.-техн. журнал "Вібрації в техніці і технологіях". – 2008. – Вып. 2(51). – С. 85-90

6. Определение равновесного состояния тонкого слоя жидкости с твердой частицей в ячейке сита грохота / **В.П. Надутьй, В.И. Елисеев, В.И. Луценко и др.** // Науковий вісник НГУ. – 2008. – Вып. 9. – С. 81-85.

7. Определение закономерностей опускания жидкости в поровых каналах влажной горной массы, лежащей на сетке / **В.П. Надутьй, В.И. Елисеев, В.И. Луценко и др.** // Науковий вісник НГУ. – 2009. – Вып. 2. – С. 71-75.

8. **Надутьй В.П., Остапенко В.А., Ягнюков В.Ф.** Синтез параметров валковых вибрационных классификаторов: Монография. – Киев: Наук. думка, 2006. – 189 с.

9. **Надутьй В.П., Остапенко В.А., Ягнюков В.Ф.** Определение взаимного влияния комплекса параметров валковых вибрационных классификаторов // Всеукр. науч.-техн. журнал "Вібрації в техніці і технологіях". – 2006. – Вып. 4(42). – С. 95-101.

10. **Потураев В.Н., Франчук В.П., Надутьй В.П.** Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах: Монография. – Днепропетровск: Национальная горная академия Украины, 2002. – 186 с.

11. Результаты исследований равновесного состояния жидкости в ячейке сита обезвоживающего грохота / **В.П. Надутьй, В.И. Елисеев, В.И. Луценко и др.** // Всеукр. науч.-техн. журнал "Вібрації в техніці і технологіях". – 2009. – Вып. 3(35). – С. 77-81.

12. Моделирование процесса истечения жидкости в слое влажной горной массы через поровые каналы сита виброгрохота / **В.П. Надутьй, В.И. Елисеев, В.И. Луценко и др.** // Зб. наук. праць НГУ. – 2009. – Вып. 32. – С. 109-114.

© Франчук В.П., Надутьй В.П., Егурнов А.И., 2010

*Надійшла до редколегії 19.04.2010 р.
Рекомендована до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*