Способ предварительного разрушения агломерата по декларационному патенту Украины № 9901 и устройство по патенту № 12363 необходимо применять в агломерационном производстве при отсутствии дробления аглоспека, где условия захвата должны обеспечиваться выполнением приведенных на рисунке 1 соотношений.

Метод излома, как наименее энергозатратный, реализуется в соответствие со способами по декларационным патентам Украины №№ 9865 и 9843 за счет изменения формы колосниковой решетки (перепада уровня высот колосников). При этом, разрушение аглоспека при изломе происходит по ослабленным (плохо спеченным) участкам, что обеспечивает более полное удаление из агломерата (возврата), тем самым повысив качество готового агломерата.

Таким образом создание физической модели одновалковой зубчатой дробилки с учетом масштабного фактора (например, в масштабе 1:10) и ее исследование по плану многофакторного планирования позволит оптимизировать функции откликов (пылевидные фракции и крупные куски) по исследуемым параметрами (скорость вращения рабочего органа, геометрия усовершенствованной рабочей зоны) с учетом поставленных задач исследований [13] и в дальнейшем перенести результаты исследований в существующий производственный процесс.

Список литературы: 1. *Вегман Е.Ф.* Окускование руд и концентратов. – М.: Металлургия, 1968. – 258 с. **2.** Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология. *Борискин И.К., Арыков Г.А., Пыриков А.Н.*: МИСИС, 1998. – 248 с. **3.** *Федоровский Н.В., Шанидзе Д.И.* Агломерация железных руд: Справочник. – К.: Техника, 1991. –141 с. **4.** *Мантула В.Д., Сталинский Д.В.* Проблемы загрязнения атмосферного воздуха горно-металлургического комплекса Украины и основные направления их решения. // Экология и промышленность.. – 2004. № 1. – С. 10 – 12. **5.** *Сталинский Д.В., Боштейн В.А., Рыжавский А.З.* УКРГНТЦ "Энергосталь": комплексный подход к решению проблемы защиты окружающей среды и энергосбережения. // Экология и промышленность.. – 2004. № 1. – С. 5 – 9. **6.** *Левченко О.О.* Аналіз умов подання пирога агломерату в одновалкову зубчасту дробарку. Сборник научных трудов ДГМИ. Вып 19. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. - С 323 – 330. **7.** *Алтухов В.Н., Левченко О.А.* Пути повышения эффективности дробления агломерата в одновалковой зубчатой дробилке. Разработка рудных месторождений. Науч.-техн. сб. КТУ. Кривой Рог: КТУ, 2005. № 89 - С. 151 – 154. **8.** *Левченко О.О., Галич В.А.* Моделювання процесу роботи одновалкової зубчастої дробарки. Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КТУ, 2006. № 13 - С. 100 – 103. **9.** *Алтухов В.М., Левченко О.О.* Спосіб попереднього дроблення агломерату. Деклараційний патент на корисну модель № 9901, Україна, МКИ В 02 С 4/10. Опубл. 17.10.05 Бюл. № 10. **10.** *Алтухов В.М., Левченко О.О., Кір'язєв П.М.* Пристрій для попереднього дроблення агломерату. Деклараційний патент на корисну модель № 12363, Україна, МКИ В 02 С 11/00. Опубл. 15.02.06 Бюл. № 2. **11.** *Алтухов В.М., Левченко О.О.* Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці. Деклараційний патент на корисну модель № 9843, Україна, МКИ В 02 С 4/10. Опубл. 17.10.05 Бюл. № 10. **12.** *Левченко О.О., Алтухов В.М., Трінєєв Є.Т., Левченко Е.П.* Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці. Деклараційний патент на корисну модель № 9865, Україна, МКИ В 02 С 4/10. Опубл. 17.10.05 Бюл. № 10. **13.** *Левченко О.А.* Комплексные направления повышения качества агломерата и защиты природной среды. Экология и промышленность. – 2006. № 1. – С. 27 – 29.

Поступила в редколлегию 16.09.06.

УДК 543.1/532.135:541.12.015

Н.Д. ОРЛОВА, канд. физ.-мат. наук, ***Н.И. СОТНИЧЕНКО***, Одесская национальная морская академия

ОПТИМИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

У статті приведений короткий опис вібромашин і технології їх застосування. Виробничі вібратори як наприклад, ВУПП-200, ВУПР-5 - універсальні і з їх допомогою можна виконувати різну обробку матеріалів - здрібнювання, активацію суміші, змішання, покриття одного порошку іншим, твердіння, реєстрацію гранул різних органічних і неорганічних матеріалів, очищення від відходів нафти й інших відходів.

In clause the brief description of vibrating machines and technologies is resulted. Vibrating mills such as VUPP-200, VUPR-5 are universal and on them it is possible to carry out various kinds of processing of materials - crushing, activation, mixture, condensation, a covering of one powder another, hardening, reception of granules of various organic and inorganic materials, clearing of waste products of oils and every possible pollution.

С 1981 года на базе Одесской национальной морской академии начали выполняться хоздоговорные работы с ведущими предприятиями страны, и была создана научно-исследовательская лаборатория “Вибрационной обработки сыпучих грузов перевозимых морем”, а затем учебно-научно-исследовательская лаборатория “Вибрационной техники и технологий”. Лаборатория оснащена универсальными вибрационными машинами, которые созданы в результате работ с ведущими предприятиями (Тульским металлургическим комбинатом, Рубежанским химическим комбинатом, ПО “Технология” (г. Обнинск), НПО “Краснознаменец” (г. Петербург), “Запорожсталь” литейные цеха, НПО “Прометей” (г. Петербург), порт Южный, и др.). Универсальные вибрационные машины и технологии разработаны сотрудниками Одесской национальной морской академии и группой инженеров конструкторов П.Ф. Овчинниковым, В.Н. Верещагиным, В.С. Бабий, А.М. Механиковым.

Вибрационные мельницы типа ВУПП-200, ВУПП-1200, ВУПП-200У, ВМН-200, ВМН-20,УВУ-20,ВМН-1600,ВМН-1200,ВПУ-1000,ВУПР-5 являются универсальными, так как на них можно проводить различные виды обработки - измельчение, активирование, смешение, уплотнение, легирование, плакирование, упрочнение, гранулирование различных органических и неорганических материалов, очистки отходов от масел и всевозможных загрязнений. Имеются разработки по вибрационным машинам (вибромельницы) с вибратором расположенным вне полости помольного барабана.

Основные характеристики вибрационной мельницы ВМН-200: объем барабана 200л, вес мелющих тел от 500 до 600 кг, потребляемая мощность10-14кВт, амплитуда колебаний переменная от1-12мм, частота колебаний 1500мин$^{-1}$., габаритные размеры 2.45*0.99*1.19м, общий вес вибрационной мельницы 1.5т, вибровозбудители расположены вне помольной камеры.

Аналогичные характеристики имеет и вибрационная мельница ВУПП-200: объем барабана 200л, вес мелющих тел от 500 до 620 кг, потребляемая мощность14кВт, амплитуда колебаний переменная от1-14мм, частота колебаний 1500мин$^{-1}$, габаритные размеры 2.86*1.10*1.25м, общий вес вибрационной мельницы 2т. Отличается от ВМН-200 наличием сменных вибраторов двух типов с дискретным и непрерывным изменением параметров вибрации (амплитуды), а так же возможностью изменения частоты при использовании регулируемого привода. Внутри барабана помещена сменная футеровка, позволяющая осуществлять измельчение в жидкой и газовой среде.

Последняя цифра в модификациях всех машин (ВУПП-1200, ВМН-1600**)**, указывает на объем барабана и некоторые конструкторские усовершенствования.

Вибрационная мельница ВПУ-1000 – каскад расположенных вертиально пяти вибрационных мельниц типа ВМН-200.

Вибрационная машина ВУПР-5 вибрационная площадка с переменными параметрами вибрации и удара. Габаритные размеры 7470•1420•1020 мм масса 25 т, колебания вертикальные с переменной частотой до 3500 мин$^{-1}$, с амплитудой 0,2-1,4 мм, частота ударов переменная 1-8 уд./с., ускорение при ударе 5-30.

Использование разработанных вибрационных машин в различных отраслях народного хозяйства позволило разработать новые вибрационные технологии.

Разработаны следующие вибрационные технологии.

Вибрационная технология приготовления амфольной массы глифталевого линолеума, улучшение известной технологии достигнуто за счет равномерного смешения на вибрационной мельнице сухих компонентов линолеумной массы.

Вибрационная технология приготовления паст для смазок на основе дисульфид молибдена (M_oS_2). Сухое тонкое измельчение M_oS_2 и смешение с базовым маслом проводится на вибрационной мельнице типа ВУПП, производительность вибрационного измельчения (M_oS_2) в пять раз выше, чем на мельницах другого типа.

Вибрационная технология приготовления формовочных смесей. В этой технологии совместное измельчение материалов, идущих на приготовление формовочной смеси (кварцевый песок, глина огнеупорная, уголь марки ПТ, кокс, шлак феррохромовой, пек древесный), а также их смешение проводилось на вибрационной мельнице ВМН-200 с постоянными параметрами вибрации. Опыты по приготовлению формовочных смесей показали, что качество (по газопроницаемости, влажности, прочности на сжатие и разрыв) формовочных смесей приготовленных вибрационным способом значительно улучшается.

Одной из подтвержденных практикой вибрационных технологий является измельчение металлических отходов для получения порошков [3, 6, 7], используемых в порошковой металлургии. Отходы стружки вольфрама, молибден вольфрама, цинка, сплава Ni-Al-Ti, карбида циркония, никеля, кремния после обработки на переменном амплитудно-частотном режиме вибрации достигают требуемых основным производством размеров частиц, или требуемой удельной поверхности. При проведении опытов по измельчению металлических отходов были использованы теоретические исследования зависимости удельной поверхности $S(t)$ от времени измельчения и переменного поля вибрации. По данным экспериментальных данных зависимости удельной поверхности от времени измельчения металлических порошков (Х13М2Ю2, Х13М2С2, Х18Н15) построены регрессионные модели. При построении регрессионных моделей, прежде всего, возникает вопрос о виде функциональной зависимости, характеризующей взаимосвязи между результирующим признаком и признаком-фактором. Были выбраны и исследованы следующие функциональные зависимости

$$S_n(t)=\sum_{j=0}^{n} b_j t^j,\ S(t)=\frac{b_0}{t}+b_1,\ S(t)=b_1+b_0\cdot\ln t,$$
$$S(t)=b_0\cdot t^{b_1},\quad S(t)=b_0\ell^{b_1 t},\ \ S(t)=b_0\cdot b_1{}^{t},$$

Выбор формы связи основан на качественном, теоретическом и логическом анализе сущности изучаемого явления. Коэффициенты регрессии $b_j, j=0,1,2\ldots n$ определяются таким образом, чтобы рассогласование, характеризующие степень приближения реальных значений результирующего признака с помощью модели были минимальными.

Анализируя полученные результаты можно предположить:

1.Внутри заданного временного промежутка лучшими регрессионными моделями для металлических порошков типа Х13М2С2, Х18Н15 являются

$$S_9(t)=\sum_{j=0}^{9} b_j t^j, S(t)=b_0\ell^{b_1 t}$$

Значения коэффициентов регрессии $b_j, j=0,1,2\ldots 9$ для Х18Н15

$$S(t)=0.0032t^9-0.1287t^8+2.1129t^7-$$
$$-18.5043t^6+92.5872t^5-261.237t^4+$$
$$+374.1132t^3-180.7391t^2-34.9707t\ +$$
$$+308.7937.$$
$$S(t)=279.5293e^{0.08855t}.$$

Значения коэффициентов регрессии $b_j, j = 0,1,2\ldots9$ для Х13М2Ю2

$$S(t) = -0.0032t^9 + 0.1413t^8 - 2.6197t^7 +$$
$$+ 26.3697t^6 - 153.6355t^5 + 504.2639t^4 -$$
$$- 795.5627t^3 + 208.7117t^2 + 776.95312t +$$
$$+ 147.8485.$$

$$S(t) = 438.1656e^{0.16135t}.$$

Остальные регрессионные кривые плохо согласуются с экспериментальными данными.

2. Лучшей регрессионной моделью, описывающей процесс измельчения металлических порошков как вне, так и внутри заданного временного промежутка является модель вида $S(t) = b_0 \ell^{b_1 t}$.

Содержательный смысл коэффициентов b_j в уравнениях регрессии: величина b_j - показывает, насколько в среднем изменяется результирующий признак величины удельной поверхности $S(t)$ при изменении фактора времени на единицу шкалы его измерения.

Разработаны вибрационные технологии упрочнения хромистой бронзы карбидом титана, легирования порошка карбонильного никеля - хрома восстановленного - окиси иттрия – нихрома, плакирование порошка карбонильного никеля алюминием AI_2O_3 с целью повышения текучести и термореагируемости.

Разработана технология использования вибрационных машин для обработки растительного сырья: доизмельчение чайной пыли и крошки [7] для получения гранулированного чая с использованием ПАВ, измельчение косточек винограда, вишен, зерен натурального кофе для пищевой промышленности, измельчение различных злаков для приготовления кормов. По договору с АП “ Одесская биотехнология” проводились исследования вибрационного измельчения зерна сои и соевого шрота. Показано, измельчение соевого шрота эффективно, а измельчение зерна сои возможно только в низкотемпературном режиме. Выполненное для того же заказчика измельчение “биотрита” позволило проводить таблетирование продукта, что другими методами заказчику не удавалось. Разработана технология получения затравки из сахарного песка путем вибрационного измельчения в среде этилового спирта, полученная затравка допускает длительное хранение.

Разработана технология использования горелой породы терриконов для производства дешевых вяжущих и строительных материалов. Горелая порода (терриконы Лисичанского шахтоуправления) измельчаются и активируются

на вибрационной мельнице типа ВМН, смешиваются с определенным количеством цемента (не более 30%) и повторно активируются на вибрационной мельнице в определенном режиме. Полученные смеси испытаны по ГОСТ310-84 и показали, что сроки схватывания цементного теста, усадка и набухание цемента при твердении, равномерности изменения объема смеси полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ310-84 .Полученные смеси являются продуктами многоцелевого назначения, пригодных для приготовления растворов (штукатурных, каменных), плит для дорожных покрытий, бетона и кирпича для строительства зданий.

Получено новое вяжущее (НВ), которое без внесения дорогостоящих пигментов имеет эффектный декоративный вид (светло-коричневый) и устойчиво к атмосферным воздействиям.

Дано экономическое обоснование вибрационного способа совместного измельчения компонентов вяжущего. Экономическая эффективность нового вяжущего (НВ) очевидна, т.к. НВ содержит не более 30 % цемента, а остальное сырье - отходы.

Производительность определяется для каждого материала и процесса индивидуально.

Различные виды обработок материала осуществляются за счет переменного амплитудно-частотного режима вибрации [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Режим работы вибрационных мельниц типа ВУПП, ВМН определяется различными параметрами (критическим ударным импульсом, частотой вращения вала вибровозбудителя, амплитудой колебаний, угловым ускорением, массой загрузки, размером (набором) мелющих тел) [1, 2, 6], правильных подбор которых позволяет осуществлять различные технологические процессы на одних и тех же вибрационных машинах.

Правильный подбор параметров вибрации позволяет не только осуществлять различные технологические процессы на одних и тех же вибрационных машинах, но и оптимизировать имеющиеся технологические процессы. Теоретически и практически установлено, что на выбор параметров измельчения оказывают существенное влияние физические и химические свойства обрабатываемого материала.

Спмсок литературы: 1. *П.Ф. Овчинников*. Виброреология. Киев. Наукова Думка.1983г.271с. **2.** *Овчинников П.Ф., Орлова Н.,Д., Верещагин В.Н.* Управление переменным амплитудно-частотным режимом при уплотнении бетонных смесей, теология бетонных смесей и её технологические задачи. Тезисы докладов III-го Всесоюзного симпозиума, Рига, 18 -20 декабря,1979г.,с.207-209. **3.** *Овчинников П.Ф., Орлова Н.Д.* Теоретическое обоснование выбора параметров вибрации и удара нанесения порошков для покрытия поверхностей. Отчет о научно-исследовательской работе "Разработка технологий вибрационной обработки порошковых материалов для термостойких и коррозионно-стойких защитных покрытий", № гос. регистрации 01813013784. 1982 г. стр. 7- 12. **4.** *Орлова Н.Д.* Результаты вибрационного измельчения сплава никель-алюминий-титан. Отчет о научно-исследовательской работе" Разработка технологии виброизмельчения металлических порошков для коррозионно-стойких и антифрикционных покрытий", № гос. регистрации 01860062335., 1988г стр.33-37 . **5.** *Овчинников П.Ф., Орлова Н,Д., Гаврильченко Х.И.* Расчет зон изменения параметров вибрации при тонком измельчении. ТОХТ АН СССР,М. 1987, вып. 3, с. 418 - 422. **6.** *Орлова Н.Д., Светельщук Н.В.* Вибрационное измельчение стружки бронзы. Деп. ЦНИИЭМ цветных

металлов N1893-цм 90 от 9.04.90г . **7.** *Орлова Н.Д., Гаврильченко Х.И., Светельщук Н.В.* Активация чайной пыли и крошки для получения гранулированного чая. Тезисы Всесоюзной конференции по дезинтеграторной технологии. Киев, 1991 г., с. 34 - 36. **8.** *Орлова Н.Д.* Оптимизация параметров при вибрационном измельчении. Материалы конференции. Теория и практика процессов измельчения и разделения. Часть 1. 29 - 31 августа. Одесса 1996 г. с. 99 - 103.

Поступила в редколлегию 16.09.06.

УДК 621.3.078

Н.Д. ОРЛОВА, канд. физ.-мат. наук, Одесская национальная морская академия, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ

Приведено результати досліджень на оптимізацію параметрів математичної моделі вібраційних машин.

The results of the investigation of optimal parameters to the mathematical description in the vibrating machines.

Известно, что в вибромельницах типа ВУПП-200 в зависимости от выбора параметров измельчения возможны различные типы разрушений: выносливое, упругое, пластическое, мгновенное в зависимости от напряжений, возникающих в единичном акте. В вибрационных мельницах измельчение происходит за счет удара и истирания.

Оба вида измельчения управляемы в том смысле, что изменением параметров вибрации (амплитуды и частоты) можно добиться либо только ударного либо только истирания.

Рассмотрим случай, когда измельчение происходит за счет истирания.

Поставим задачу описания оптимальной работы вибромашины, критерием оптимизации будем считать минимум затрачиваемой энергии. Движение вибрационной мельницы согласно [1] описывается следующими типами дифференциальных уравнений: уравнениями поступательного движения центра масс системы в целом; уравнениями вращательного движения; уравнениями вращения вибровозбудителя; уравнениями движения мелющих тел. Изменения и движение измельчаемого материала учтено силами реакции. Если любому положению измельчаемого материала, мелющих тел, и вообще состоянию вибромашины как единой системы поставим в соответствие энергию (кинетическую и потенциальную), то можно поставить задачу нахождения оптимальных параметров измельчения при минимальных затратах энергии на процесс измельчения. В соответствии с вариационным принципом наименьшего действия (принцип Гамильтона) сформулированная задача сводится к исследованию на экстремум функционала определенного вида.

Рассмотрим движение консервативной системы, состоящей из k - материальных точек, в потенциальном силовом поле (число степеней свободы $n \le 3k$). Каждое возможное положение системы характеризуется определенной точкой [2] $M(t, x_1, x_2 \dots x_n)$ или в векторной форме $M(t, \overline{X})$ в некоторой области D (t -время, $x_1, x_2 \dots x_n$ - координаты),а также $T(t,q,\dot{q}), V(t,q,\dot{q})$ кинетической и потенциальной энергией системы. Тогда функция, описывающая движение системы материальных точек из состояния $(t_1 \overline{X}_1)$ в состояние $(t_2 \overline{X}_2)$ есть стационарная функция функционала $J(t) = \int_{t_1}^{t_2} L(t, q(t), \dot{q}(t))dt$ с соответствующими начальными или граничными условиями и уравнениями связи.

Рассмотрим несколько частных задач.

Задача 1.

Пусть одно мелющее тело ($k = 1$) совершает колебательное движение внутри барабана радиуса R, (число степеней свободы $n = 3$) под действием сил упругости. Всевозможные состояния рассматриваемого мелющего тела определяются координатами точки $M(t, x_1, x_2, x_3)$ или $M(t, x, y, z)$ при условии, что $x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z$ и тогда поставленная задача приводит к исследованию на минимум функционала

$$J = \frac{\mu}{2\omega} \int_0^{\frac{\mu}{2\omega}} \left(\tfrac{1}{2} m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - k_1 x^2 - k_2 y^2 - k_3 z^2 \right) dt$$

с граничными условиями

$$x(0) = x_0,\ y(0) = y_0,\ z(0) = z_0; x(\tfrac{\mu}{2\omega}) = x_{10},\ y(\tfrac{\mu}{2\omega}) = y_{10},\ z(\tfrac{\mu}{2\omega}) = z_{10}.$$

Если учесть, что в вибромельнице колебания по оси z практически отсутствуют, то поставленная задача сводится к исследованию на минимум более простого функционала

$$J = \frac{\mu}{2\omega} \int_0^{\frac{\mu}{2\omega}} \left(\tfrac{1}{2} m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - k_1 x^2 - k_2 y^2 \right) dt$$