

**Часть 4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

СОДЕРЖАНИЕ

Авдеев Я.А., Фадин Ю.М. Яценко И.А., Трубаева В.А. Устройство конусной дробилки мелкого дробления.....	5
Александров В.Д., Соболев О.В., Александрова О.В., Соболев А.Ю., Шевченко В.А., Шабельников К.В. Использование фазопереходных теплоаккумулирующих материалов в строительной индустрии.....	11
Богданов В.С., Латышев С.С., Романенко В.С., Богданов Н.Э., Трубаева В.А. Анализ результатов исследований зависимости производительности от основных факторов горизонтальной валковой мельницы.....	28
Богданов В.С., Фадин Ю.М., Романенко В.С., Еремченко С.М. Анализ результатов исследований зависимости мощности от основных факторов горизонтальной валковой мельницы	34
Богданов В.С., Фадин Ю.М., Романенко В.С., Василенко О.С. Анализ результатов исследований удельного расхода энергии от основных факторов горизонтально валковой мельницы.....	40
Веремеенко Д.В., Мусиенко О.М., Уральский В.И. Анализ конструкции грохотов для малотоннажного производства	45
Гавриленко А.В., Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М. Анализ параметров, характеризующих процесс разгрузки камеры пневмокамерного насоса	50
Горшков П.С., Бражник Ю.В., Магомедов М.Г. Перспективы технологического процесса смешения порошковых материалов.....	56
Дмитриенко В.Г., Макридин А.А., Шеметов Е.Г., Белов В.А., Михайлов С.Н., Печегузов В.А. Исследования эффективности разделения материала в отбойно-вихревом классификаторе типа КОВ-300.....	59
Дмитриенко В.Г., Макридин А.А., Шеметов Е.Г., Михайлов С.Н., Печегузов В.А. Экспериментальные исследования аэродинамического сопротивления отбойно- вихревого классификатора типа КОВ-300.....	63

Ельцов М.Ю., Хахалев П.А., Харин Н.П. Исследование режимов работы шбм с различными внутривибрационными устройствами в по EDEM	69
Карпачев Д.В., Галицын А.Э., Кулякина О.В. Струйный диспергатор для тонкого измельчения яичной скорлупы	73
Кирилов И.В., Александрова Е.Б., Богданов Д.В. Особенности производства бетонных и железобетонных изделий по безопалубочному способу формования	78
Клементьева А.А., Несмеянов Н.П., Матусов М.Г. Сравнительный анализ конструкции бетоно- и растворосмесителей .	83
Лозовая С.Ю., Треков М.В. Повышение надежности исполнительного органа проходческого комбайна.....	87
Лозовая С.Ю., Богданов Д.В., Завгородний А.С. Повышение надежности опорно-поворотного механизма роторного экскаватора.	92
Лозовая С.Ю., Стовпенко А.С. Анализ перемещения воздушных масс в сепараторах проходного типа.....	98
Муртазаев С-А.Ю., Сайдумов М.С., Аласханов А.Х. Бетоны мелкозернистой структуры на основе рециклирования отсевов дробления бетонного лома.....	102
Мусиенко О.М., Веремеенко Д.В., Уральский В.И. Анализ применения смесителей различных типов малотоннажных производств	110
Несмеянов Н.П., Картыгин А.В. Внутримельничные устройства и их влияние на процесс измельчения цементного клинкера	115
Несмеянов Н.П., Картыгин А.В. Разработка новых видов футеровок для цементных шаровых мельниц	119
Пешков О.Г., Лозовая С.Ю., Анциферов С.И., Рядинская Л.В. Расширение области применения двухвальных смесителей	124
Романович М.А., Мясников А.В. К расчету мощности шаровой мельницы	131
Романович М.А., Мясников А.В. Исследование движения мелющих тел при различной схеме установки энергообменных устройств	136
Севостьянов В.С., Семерикова Е.Н., Якимец Н.А. Технологии и технические средства для производства древесно-полимерных композитов	141
Семикопенко И.А., Пугин А.И., Беляев Д.А., Дезинтегратор с истирающими нагрузками на измельчаемый материал.....	146
Семикопенко И.А., Пугин А.И., Беляев Д.А. Дезинтегратор с эффективной камерой помола	150

Сиваченко Л.А., Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л. Адаптивные механизмы в реализации механических процессов переработки дисперсных сред	155
Сиваченко Л.А., Сотник Л.Л., Сиваченко Т.Л. Волоконный способ измельчения и вопросы его практической реализации.....	162
Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Василенко О.С., Александрова Е.Б. К возможности прямого использования энергии ветра в технологиях производства строительных материалов.....	167
Сиваченко Л.А., Богданов В.С., Фадин Ю.М. Новые технологические задачи в области процессов измельчения и пути их решения.....	172
Сиваченко Л.А., Сотник Л.Л., Богданович И.А. Основы проектирования вибровалкового агрегата для дезинтеграторной обработки минеральных материалов	179
Сиваченко Л.А., Толочинец И.М. Пружинный грохот для эффективного разделения влажных мелкозернистых материалов.....	186
Сиваченко Л.А., Дерман Е.И. Универсальный измельчитель с многолезвийными рабочими органами.....	190
Сиваченко Л.А. Реутский И.А., Ровский А.М. Экспериментальная установка с цепным рабочим оборудованием для измельчения и предварительной сушки влажных сырьевых материалов.....	195
Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л. Энерготехнологическая концепция национальной безопасности	201
Тимофеев В.А., Шаталов А.В., Шаталов В.А. Особенности процесса измельчения в энергосберегающем технологическом комплексе при утилизации стеклобоя.....	208
Тихомирова Т.И., Щетинина И.А., Щетинин Н.А. Об энергосберегающем остеклении.....	211
Трофимченко В.Н., Мордовская О.С., Ханин С.И. Определение затрат энергии на дезагрегацию частиц при воздушной сепарации материалов.....	215
Фадин Ю.М., Герасименко В.Б., Клёнова Н.А. Лабораторная горизонтальная вибрационная мельница	221
Фадин Ю.М., Герасименко В.Б., Романенко В.С., Еремченко С.М. Анализ результатов исследований зависимости тонкости помола от основных факторов горизонтальной валковой мельницы	225

Хамидов М.А., Нахаев М.Р., Хасиев Р.М. Общие тенденции развития современного монолитного строительства.....	232
Ханин С.И. Совершенствование процесса помола клинкера в шаровой мельнице	244
Хворостенко С.В. Экспериментальная оценка основных показателей электромагнитной совместимости в сетях электроснабжения при производстве железобетонных изделий	249
Чемеричко Г.И., Пахотин Е.Г. Тенденции совершенствования смесительного оборудования.....	254
Шаталов А.В., Тимофеев В.А., Шаталов В.А. Определение основных параметров процесса измельчения в помольном комплексе ПВИ-БМ	259
Щетинина И.А., Тихомирова Т.И., Щетинин Н.А. К вопросу утилизации пылей и шламов производств агломерата и окатышей....	263
Юдин К.А. Вечканов А.В. Юрьева М.В. Модернизация дробящих плит щековой дробилки с простым движением щеки	266
Юдин К.А., Вечканов А.В., Трубаева В.А., Крысина Ю.Н. Смесители с двунаправленным вращательным воздействием на материал.....	270

УСТРОЙСТВО КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ МЕЛКОГО ДРОБЛЕНИЯ

Авдеев Я.А., инженер,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,
Яценко И.А., студент,
Трубаева В.А., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке базовой части
государственного задания № 1657 с использованием оборудования
ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова*

Станина 8 дробилки (рис. 1) представляет собой цилиндрическую отливку.

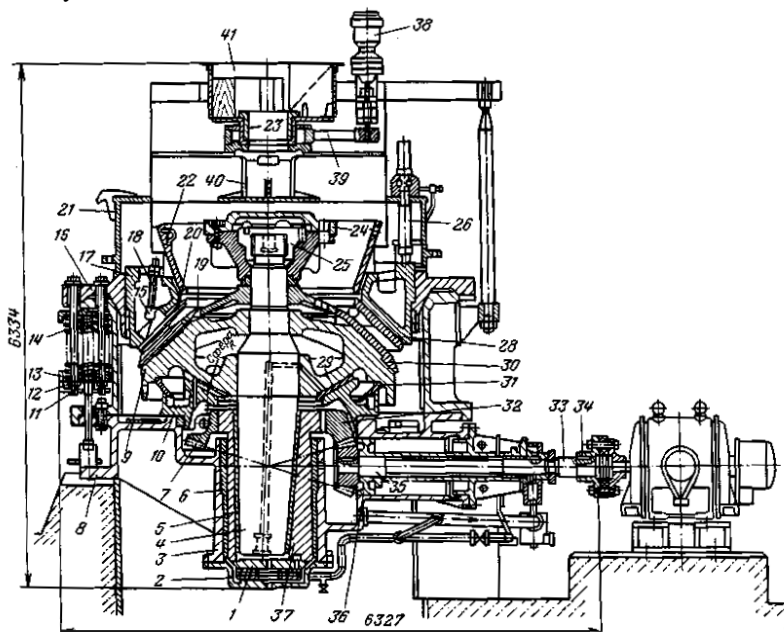


Рисунок 1 – Конусная дробилка мелкого дробления КМД-3000

Нижним фланцем станина устанавливается на фундаменте. Для установки дробилок большего размера (2200 и 3000 мм) применяют

фундаментные плиты. На верхнем фланце лежит опорное кольцо 16, представляющее собой также цилиндрическую отливку, на внутренней поверхности которой сделана винтовая нарезка. Кольцо своим фланцем скрепляется с фланцем станины длинными болтами 11 и пружинами 14. Всего по окружности станины дробилки размещают от 20 до 130 стяжных болтов с пружинами в зависимости от размера дробилки. [4]

Головка болтов располагается на фланце кольца. Внизу болты проходят через отверстия в дуговых шайбах 13 и затягиваются гайками 12. При затяжке гаек 12 шайбы 13 поднимаются несколько кверху, пружины сжимаются и опорное кольцо оказывается прижатым к станине дробилки упругими силами пружин. Сила прижатия кольца пружинами составляет $4 \cdot 10^3$ кН для дробилок наибольшего размера. Пружины 14 служат для защиты дробилок от поломок.

При попадании в камеру дробления недробимых предметов, пружины под действием усилий, значительно превышающих нормальные, сжимаются, наружная чаша вместе с установочным кольцом приподнимается и недробимый предмет проходит через дробилку. Если недробимый предмет настолько велик, что не выходит из камеры дробления, то конус заклинивается и дробилка останавливается; срабатывает электрическая система защиты. Также в качестве предохранительного устройства вместо пружин используются гидроцилиндры, вместе с тем позволяющие упростить настройку размера продукта на выходе (фракции). [3]

При установке дробилки пружины должны затягиваться так, чтобы оставался некоторый запас сжатия (60—85 мм) на случай попадания в дробилку недробимого предмета. Наружная неподвижная чаша 17 (см. рис. 60) представляет собой отливку с нарезкой на внешней цилиндрической поверхности, которой чаша ввинчивается в нарезку на опорное кольцо. Внутренняя поверхность наружной чаши сделана конической, более широкой в нижней части. Она покрывается футеровкой 28 из марганцовистой стали. Футеровка крепится с наружной стороны чаши болтами 18, зацепляющимися с крючьями 15, отлитыми заодно с футеровкой, которые пропускаются через отверстия в чаше. В нижней части чаши футеровка ложится на обработанный бурт, а на всей остальной поверхности плотность прилегания футеровки обеспечивается цинковой заливкой 20. Проемы, в которых размещены крепящие футеровку болты, закрыты сверху кольцевым кожухом 21, соединенным с чашей стержнями 26 с клиновым креплением. На кольцевом кожухе 21 укреплена приемная воронка 22.

В нижней части станины имеется цилиндрическая втулка 3, отлитая

с ребрами жесткости и станиной как одно целое. Вертикальные оси станины и втулки совпадают. Во втулку вставляется и жестко к ней крепится сменная бронзовая цилиндрическая втулка 6, выполняющая роль подшипника для эксцентрикового стакана 37, выполненного в виде цилиндрической отливки с хорошо обработанной боковой поверхностью. В верхней части эксцентрикового стакана закреплена большая коническая шестерня 7. В самом стакане сделана коническая расточка, расположенная эксцентрично относительно вертикальной оси стакана. В этой расточке укреплен бронзовая втулка 5, в которую входит нижний конец рабочего вала 4.

Частота вращения эксцентрикового стакана составляет более 200 мин⁻¹. Для сбалансирования вращающихся масс на большой конической шестерне сделан прилив 32.

Эксцентриковый стакан внизу опирается на подпятник 1, состоящий из нескольких скользящих друг по другу шайб, которые воспринимают вес подвижного конуса и вертикальную составляющую усилия дробления. [1] Подпятник лежит в гнезде на донной плите 2, которая прикреплена болтами снизу к втулке 3. В верхней части на рабочем валу 4 жестко закреплен дробящий конус 9 и тарелка 24, равномерно подающая дробимый материал в камеру дробления дробилки.

Дробящий конус представляет собой отливку с полой боковой поверхностью (угол при вершине около 100°). Высота конуса примерно в 3 раза меньше диаметра его основания. Боковая поверхность конуса, которой он нажимает на куски материала, заполняющего камеру дробления, футерована кольцевой броней 30, заклиненной на конусе фасонной гайкой 25. Для плотного прилегания футеровки к поверхности конуса, чтобы она не нагружалась изгибными напряжениями и не имела возможности подвижки под действием сил трения, возникающих вследствие проскальзывания кусков материала относительно рабочей поверхности подвижных конусов, пространство между ними заполнено цинковой заливкой 19 или высококачественным цементным раствором.

Нижняя поверхность дробящего конуса тщательно обработана по сфере радиуса R. Этой сферической нижней поверхностью дробящий конус лежит на сферической опоре (подпятнике) 10, служащей для него подпятником и связанной с втулкой станины. Вал 4 через посредство дробящего конуса как бы подвешен на сферическом подпятнике 10. Подпятник покрыт сменным бронзовым вкладышем 29, по которому скользит сферическая поверхность дробящего конуса.

Для предотвращения проникновения пыли к сферическому

подпятнику и приводному механизму в дробилке имеется гидравлический затвор (рис. 2). Подпятник 10 имеет кольцевую канавку, заполненную водой, которая подается под напором по трубопроводу через кольцевую камеру. Избыток воды переливается через порог канавки и по спускной кольцевой выточке и трубопроводу отводится из дробилки. К внутренней поверхности дробящего конуса прикреплен воротник 31, свободный обрез которого при работе дробилки все время погружен в воду, заполняющую канавку. Летом гидравлический затвор заполняется водой, а зимой, если дробилка стоит в неотапливаемом помещении, - минеральным маслом.

На фасонной гайке дробящего конуса (см. рис. 1) сверху болтами закреплена распределительная тарелка 24, на которую через загрузочную воронку 23 поступает дробимый материал. Тарелка вместе с дробящим конусом совершает круговые качания, оставаясь все время в наклонном положении. Материал, сползая по тарелке, падает в рабочее пространство дробилки по всей окружности приемного отверстия. Дробленый продукт разгружается из рабочего пространства вниз через кольцевую щель между дробящим конусом и наружной чашей; далее он выходит под дробилку на ленточный конвейер.

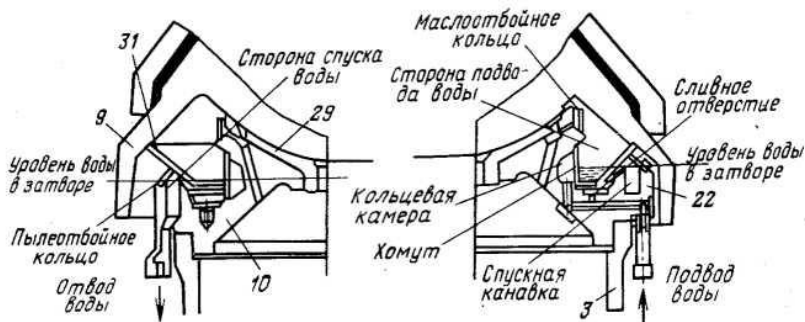


Рисунок 2 – Гидравлический пылезащитный затвор конусных дробилок мелкого дробления (позиции см. рис. 1)

Характерной особенностью конусных дробилок мелкого дробления является большой наклон образующих дробящего конуса. При приближении дробящего конуса к неподвижному конусу у выходной щели образуется параллельная зона, т.е. участок рабочего пространства, где поверхности конусов параллельны. [5] Параллельная зона у дробилок мелкого дробления (короткоконусных) имеет длину, приблизительно равную 1/6 диаметра дробящего конуса. Частота

вращения эксцентрикового стакана рассчитана так, чтобы каждый кусок дробимого материала был хотя бы один раз раздавлен в параллельной зоне. Ширина параллельной зоны считается шириной выходной щели. Она регулируется путем вращения наружной чаши относительно опорного кольца. При этом происходит вывинчивание или ввинчивание чаши и соответствующее увеличение или уменьшение ширины выходной щели. Чаша поворачивается при помощи гидравлических цилиндров 27.

Привод у конусных дробилок мелкого дробления осуществлен непосредственно от электродвигателя, вал которого муфтой 34 соединяется с приводным валом 33. Приводной вал 33 с подшипниками 35 смонтирован в установочной обойме 36, закрепленной фланцем на станине дробилки.

Конусные дробилки мелкого дробления имеют смазочную систему жидкого циркуляционного смазывания [2]. Жидкая смазка подается в дробилку от специального насоса к подпятнику, на который опирается эксцентриковый стакан. Заполнив гнездо подпятника, масло поднимается вверх по зазорам в бронзовых втулках 6 и 5 и смазывает трущиеся поверхности эксцентрикового стакана и рабочего вала. Одновременно масло по осевому каналу, высверленному в теле рабочего вала, поднимается до дробящего конуса и по радиальному каналу на валу и в дробящем конусе подается на трущиеся поверхности сферического подпятника. После смазки и охлаждения всех этих поверхностей масло сливается на конические шестерни 7, смазывает их и по сливной трубе удаляется из дробилки в бак-отстойник. Отстойник выполнен с электроподогревателями для масла, которые используют в холодное время года [2]. Установочная обойма приводного вала имеет самостоятельный подвод и слив масла.

Список литературы

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Старый Оскол: «ТНТ», 2013. 680 с.
2. Клушанцев Б.В., Косарев А.И. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: «Машиностроение», 1990. 320 с.
3. Официальный сайт ООО "Машпром-Оборудование". Конусная дробилка, устройство, принципы работы [Электронный ресурс]. Систем. требования: Microsoft Office Word 2007. URL:

- <http://www.mpoltd.ru/poleznoe/194-conusnaya-drobilka-ustrojstvo-printsipy-raboty.html> (дата обращения: 5.10.2016).
4. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: «Недра», 1990. 301 с.
 5. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: «Недра» 1985. 285 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**Александров В.Д., д-р. хим. наук, проф.,
Соболь О.В., канд. хим. наук, доц.,
Александрова О.В., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Соболев А.Ю.,
Шевченко В.А.,
Шабельников К.В.**

*Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры*

Фазопереходные теплоаккумулирующие материалы (ФПТАМ) в настоящее время находят широкое применение в строительной индустрии [1-2] для обеспечения комфортных условий в жилых и производственных помещениях.

Такие строительные материалы, как бетон, кирпич, саман, камень, древесина являются достаточно хорошими теплоаккумулирующими материалами (ТАМ), поскольку обладают высокими показателями теплоемкостей. Эти вещества напрямую поглощают и излучают поглощенную энергию при нагревании и последующем охлаждении. Так, при освещении солнечными лучами они аккумулируют энергию видимого света и длинноволнового ИК-излучения. Эта энергия затем благодаря теплопроводности окружающей среды распространяется по помещению. Для расширения номенклатуры ТАМ пассивного типа разрабатываются различные композиционные смеси. Например, композиция (Патент РФ JST 22 5591 8, МПК С04В28/02, опубл. 10.07.2005 г.), которая включает портландцемент, керамический песок, полимерсодержащий пластификатор, железосодержащий пигмент и воду предназначена для изготовления стендовых изделий. Известна бетонная смесь для изготовления строительных изделий (Патент РФ JST 2179160, МПК С04В28/06 опубл. 10.02.2002 г.), содержащая глиноземистый цемент, жидкое стекло и заполнители различных фракций. Целый ряд изобретений рекомендуют использовать ФПТАМ для изготовления и строительства теплоаккумулирующих камер, каминов, печей, для производства облицовочных декоративных элементов различных архитектурных форм.

Кроме пассивных ТАМ широкое распространение получили т.н. фазопереходные теплоаккумулирующие материалы (ФПТАМ). В

фазопереходных ТАМ, например, при плавлении и кристаллизации, поглощается и выделяется теплота фазового перехода. Для использования этих свойств ФПТАМ конструируются соответствующие теплоаккумуляторы (ТА), либо разрабатываются различные конструктивные изделия. Аккумуляторы теплоты фазового перехода в строительном деле, в основном, предназначены для обогрева помещений. Классическим примером использования ФПТАМ является поддержание температуры помещения за счет периодического поглощения и выделения теплоты фазового перехода в дневное и ночное время, особенно при заморозках.

Кроме того, ФПТАМ применяются при изготовлении спецодежды строителям, монтажникам, работникам жилищно-коммунальных служб при работе в суровых зимних условиях.

Приведем некоторые примеры использования ФПТАМ в строительном деле. Так в патентах [3,4] предлагается стеновые панели здания выполнять многослойной с ФПТАМ. Данные панели обеспечивают уменьшение тепловых потерь, увеличивают теплоаккумулирующую способность за счет фазового перехода (т.к. энтальпия плавления ФПТАМ значительно больше теплоты за счет теплоемкости бетона, камня и др.), предохраняют здание от перегрева летом и переохлаждения зимой.

Для повышения аккумулирующей способности и обеспечения регулирования теплового режима помещений рекомендуются стеновые панели и другие конструкционные элементы выполнять с использованием ФПТАМ [5].

Известный химический концерн BASF разработал производство ФПТАМ. Они представляют собой микрокапсулы из полимеров, внутри которых находится вещество (в основном, парафин или глауберова соль), имеющее фазовый переход при температурах, близких к комнатной [6]. Микрокапсулы размером несколько микрон вводились в состав различных строительных материалов (шпатлевки, штукатурки, ДСП, ДВП и др.) Эти капсулы обладают высокой прочностью, и поэтому их добавка не требует изменений в технологиях работы со стройматериалами. Избыточная теплота, поглощенная в течение дня, в ночное время высвобождается обратно, что «сглаживает» температурные колебания, создавая сбалансированный климат внутри помещений. Можно отметить изобретение [7], где описывается ФПТАМ, состоящий из полимерного связывающего и теплоаккумулирующего вещества (кристаллогидрата). Сущность изобретения заключается в том, что при действии

высокотемпературного теплового поля кристаллогидрат претерпевает ряд физико-химических превращений, сопровождаемых эндотермическими эффектами (дегидратация, испарения воды, нагрев кристаллизационной воды). Состав позволяет получать покрытия, устойчивые к действию высокотемпературных нагрузок, возникающих при пожаре.

Для успешной работы различных теплоаккумулирующих устройств важны не только конструктивные решения, но и поиск наиболее эффективных веществ, применяемых в качестве ФПТАМ.

Аккумулирующая среда на основе фазового перехода должна иметь следующие свойства:

- высокую энтальпию фазового перехода и плотность;
- удобную для эксплуатационных условий температуру плавления;
- высокую теплоемкость в твердой и жидкой фазах;
- высокую теплопроводность в твердой и жидкой фазах;
- отсутствие тенденции к расслоению теплоаккумулирующего материала и температурную стабильность;
- отсутствие возможности переохлаждения при затвердении и перегрева при плавлении;
- низкое термическое расширение и незначительное изменение объема при плавлении;
- слабую химическую активность, что позволяет использовать недорогие конструкционные материалы для изготовления тепловых аккумуляторов и вспомогательного оборудования;
- безопасность (отсутствием отравляющих паров, а также опасных реакций с рабочей или теплообменной средой).

В качестве ФПТАМ используются как индивидуальные вещества, так и их смеси. Смеси, в основном, эвтектического состава, готовят с целью поиска необходимого температурного интервала работы теплоаккумулятора и снижения переохлаждения. Кроме того, для предотвращения расслаивания жидкой фазы (например, гидратов) и стимулирования кристаллизации в смесь вводят различные ингибиторы. Однако поиск соответствующих смесей и ингибиторов зачастую носит интуитивный и случайный характер. Для строгого научного подхода к этой проблеме необходимы систематические исследования условий, вызывающих неравновесную кристаллизацию, устойчивость теплофизических характеристик, построения и анализа равновесных и неравновесных диаграмм состояния.

На кафедре физики и физического материаловедения нашей академии на протяжении последних 10 лет ведутся исследования по поиску веществ, обладающих перечисленными свойствами, пригодными для разработки теплоаккумулирующих материалов с использованием теплоты плавления и кристаллизации. Объектами исследования являлись низкомолекулярные органические вещества и их смеси, водные растворы солей натрия, кристаллогидраты. Для изучения теплофизических свойств ФПГАМ нами разработаны специальные методы исследования. Это так называемый циклический термический анализ (ЦТА) [8] и совмещенный метод ЦТА и ДТА [9]. Суть метода ЦТА заключается в непрерывной циклической записи кривых нагревания-охлаждения в заданном температурном интервале, включающем тот или иной фазовый переход. В качестве примеров на рис. 1-3 приведены серии термоциклов нагревания и охлаждения однокомпонентных веществ, отражающих суть метода ЦТА.

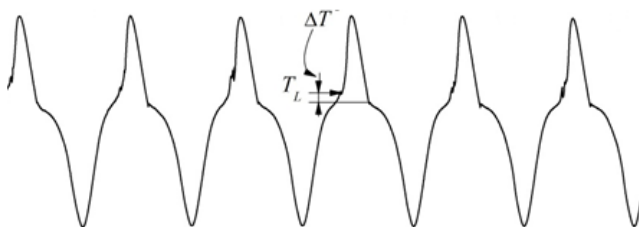


Рисунок 1 – Серия кривых нагревания и охлаждения, характеризующих плавление и кристаллизацию пальмитиновой кислоты.

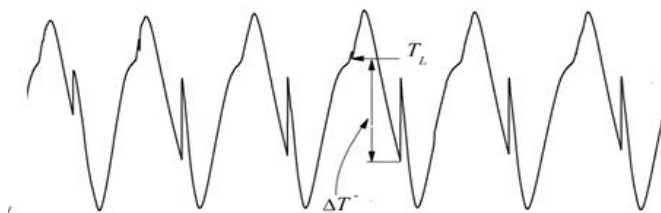


Рисунок 2 – Серия кривых нагревания и охлаждения, характеризующих плавление и кристаллизацию бензойной кислоты.

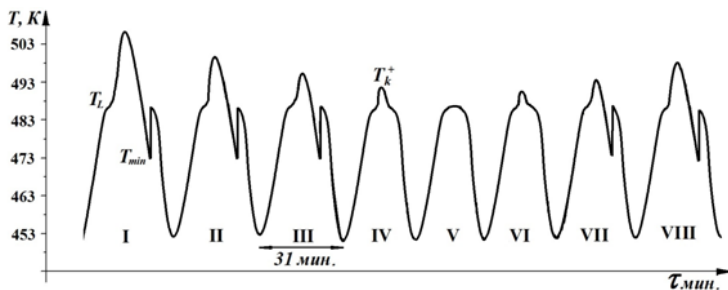


Рисунок 3 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих кристаллизацию р-терфенила с переохлаждением и без него.

С помощью данного метода удалось решить одну из основных проблем ФПТАМ, а именно значительно уменьшить их склонность к переохлаждениям и взрывным кристаллизациям (рис. 3). Практически для всех индивидуальных веществ было установлено резкое уменьшение переохлаждения в случае, если жидкая фаза прогревалась до некоторой критической величины. Таким образом, были обнаружены «критические» границы перегрева жидкой фазы $\Delta T_{к}^{+}$ относительно температуры плавления, разграничивающие последующие процессы кристаллизации от взрывной (после ощутимых переохлаждений) к квазиравновесной с незначительным переохлаждением (рис. 4).

В таблицах 1 и 2 приведены теплофизические характеристики исследованных веществ (кристаллогидраты и низкомолекулярные органические соединения) с указанием критических перегревов и переохлаждений.

Таблица 1 – Характеристики неорганических веществ, используемых в качестве ФПТАМ.

№	Вещество	Хим. формула	Темп. плавл. °С	Теплота плавл. кДж/кг	Переохл. ΔT , К	
					при $\Delta T^+ > \Delta T_k^+$	при $\Delta T^+ < \Delta T_k^+$
1	Пентагидрат тиосульфата натрия	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	48,0	206,0	44	2-3
2	Декагидрат сульфата натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,5	251,0	16	1-3
3	Гептагидрат сульфита натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	33,4	179,0	25	2-4
4	Декагидрат карбоната натрия	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	22-36,1	247,6	13	1-2
5	Тригидрат ацетата натрия	$\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	58	272,4	70	4-5
6	Вода	H_2O	0	335	8	0

Таблица 2 – Характеристики органических веществ, используемых в качестве ФПТАМ.

№	Вещество	Хим. формула	Темп. плавления, °С	Теплота плавлен. кДж/кг	Переохл. ΔT , К	
					при $\Delta T^+ > \Delta T_{к^+}$	при $\Delta T^+ < \Delta T_{к^+}$
1	Дифенил	$C_{12}H_{10}$	71,1	190	10	0-1
2	Нафталин	$C_{10}H_8$	80,3	147	10	0-1
3	Дибензил	$C_{14}H_{14}$	52,5	126,4	22	1-3
4	Парафин	$C_{18}-C_{35}$	40-65	210	2,5	0
5	О-терфинил	$C_{18}H_{14}-1,2$	56,3	74,7	32	3-4
6	М-терфинил	$C_{18}H_{14}-1,3$	87,5	134,6	37	3-4
7	Р-терфинил	$C_{18}H_{14}-1,4$	212,7	154,2	12	1-2

Таким образом, для индивидуальных однокомпонентных веществ удалось выявить условия, при которых переохлаждения снижаются до минимальных значений без использований ингибиторов и внешних воздействий. При термоциклировании проявляется еще одна особенность фазопереходного вещества, «работающего» в установленном режиме – устойчивость равновесных фазовых переходов в результате многократного термоциклирования (рис. 2).

Применение многокомпонентных систем обеспечивает определенное преимущество перед однокомпонентными ФПТАМ. Это и возможность выбора количественного соотношения компонентов в смесях с наименьшими предкристаллизационными переохлаждениями и высокими значениями теплот фазовых превращений. Это и использование дорогостоящих веществ с высокими термоаккумулирующими свойствами наряду с дешевыми с сохранениями теплоемкостных характеристик ФПТАМ. Как показали наши опыты над бинарными системами, эффективным методом в этом плане является построение соответствующих равновесных и неравновесных диаграмм состояния по термограммам нагревания-охлаждения. На рис. 4 представлены некоторые диаграммы с термограммами охлаждения, отражающие суть поиска наиболее оптимального состава, соответствующего требованиям к ФПТАМ. На основании исследований было установлено, что наиболее приемлемыми составами в смесях являются эвтектические. Именно эвтектические

составы обладают наименьшими переохлаждениями из всех остальных смесей в данной системе (рис. 4).

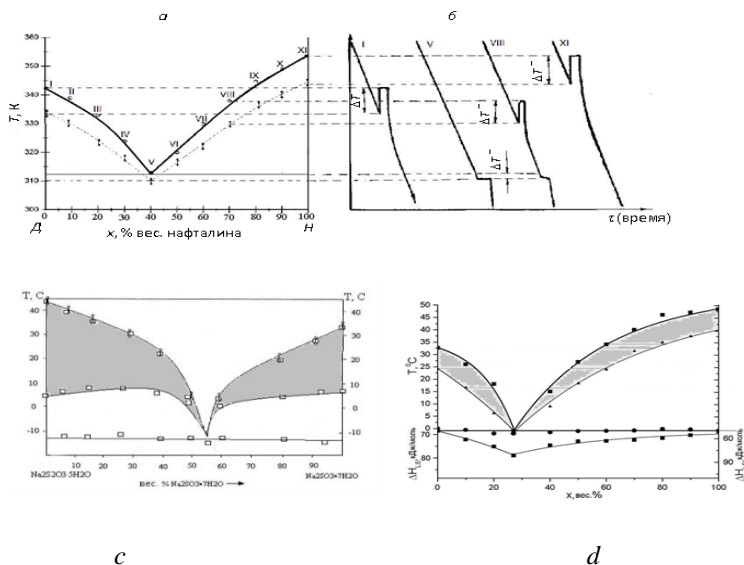


Рисунок 4 – Равновесные и неравновесные диаграммы состояния, построенные по термограммам нагревания-охлаждения

Кроме того, в отличие однокомпонентных веществ квазиравновесная кристаллизация эвтектического состава с минимальными переохлаждениями не зависит от степени перегрева жидкой фазы а экзо и эндотермические процессы устойчивы к многократному термодуцированию (рис 5).

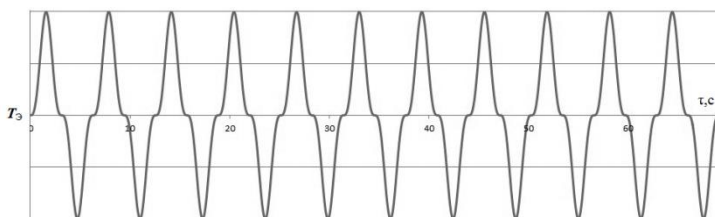


Рисунок 5 – Термограммы эвтектического состава 58% дифенила+42% нафталина, характеризующие устойчивое отсутствие переохлаждения при кристаллизации.

В таблицах 3,4 показаны эвтектические составы водных растворов кристаллогидратов, системы бинарных кристаллогидратов, а так же системы бинарных низкомолекулярных органических веществ, которые можно рекомендовать для использования в качестве ТАМ.

Таблица 3 – Эвтектические составы водных растворов кристаллогидратов и системы бинарных кристаллогидратов, используемых в качестве ФПТАМ.

№	Эвтектика	$T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta T^-, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	52,2% H_2O + 47,8% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-15,0	1-2	273
2	90% H_2O + 10% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-1,2	2	328
3	60% H_2O + 40% $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-5,0	1	270
4	60% H_2O + 40% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-18,0	1	310
5	78% H_2O + 22% $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-3,0	1	315
6	40% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 60% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-15	1-2	223
7	50% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 50% $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-8,0	0	215
8	45% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 55% $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-17,0	2	193
9	47% $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 53% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-1,0	2	251
10	50% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 50% $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19	1	256
11	50% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 50% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19	1	261,7

Таблица 4 – Системы бинарных низкомолекулярных органических веществ, используемых в качестве ФПТАМ.

№	Эвтектика	$T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta T^-, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	80% бензол+20% нафталин	3,6	4	130,0
2	73% бензол+27% дифенил	-6,0	3	120,2
3	58% дифенил+42% нафталин	41,0	1	108,0
4	67,1% бенз. кислота+32,9% нафталин	67,0	2	123,0
5	Нафталин+ дибензил	32,0	2	132,8
6	50% резорцин + 50% пирокатехин	58,0	0	148,9
7	67% резорцин + 33% гидрохинон	126,0	17	170,0
8	70% пирокатехин + 30% гидрохинон	85,0	10	213,0

В лабораторных условиях на разработанной установке для теплоснабжения были успешно опробованы такие вещества как парафин, глауберова соль, тригидрат ацетата натрия и некоторые эвтектические смеси из указанных выше таблиц.

Еще одной проблемой для создания ФПТАМ является наличие т.н. гистерезисных явлений (ТГ). Термические гистерезисы проявляются в

случае несовпадения температур и энтальпий плавления и кристаллизации, чередований равновесного характера плавления с неравновесной кристаллизацией, в случае несопоставимых друг с другом скоростей поглощения и выделения теплот прямого и обратного фазового превращения.

Анализ многочисленных работ по изучению процессов плавления и кристаллизации сплошь и рядом указывает на возможность наличия, либо отсутствие ТГ [10-12]. Термограммы плавления и кристаллизации обычно записываются в одном направлении. Петля термического гистерезиса формируется при совмещении кривых нагревания и охлаждения с учетом прямого и обратного фазовых переходов. Начертим схематические термограммы при обычной записи в координатах температура T – время τ при нагреве и охлаждении. Для построения и анализа петель гистерезиса развернём кривые охлаждения на 180° относительно оси симметрии и совместим их с кривыми нагревания. Стрелки (\rightarrow) и (\leftarrow) обозначают направления записей. Примем, что за один цикл (\mathcal{C}) происходят процессы нагревания и охлаждения, за полцикла от нуля до $\frac{1}{2}\mathcal{C}$ идёт нагревание, а от $\frac{1}{2}\mathcal{C}$ до \mathcal{C} – охлаждение.

Начнём с «простого» цикла (рис. 6, а), характеризующего нагрев по пути $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d_k$ с плавлением ($b \rightarrow c$) при T_L , и охлаждение по пути $d_k \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g$ с равновесной кристаллизацией ($e \rightarrow f$) при температуре T_S , равной температуре плавления T_L .

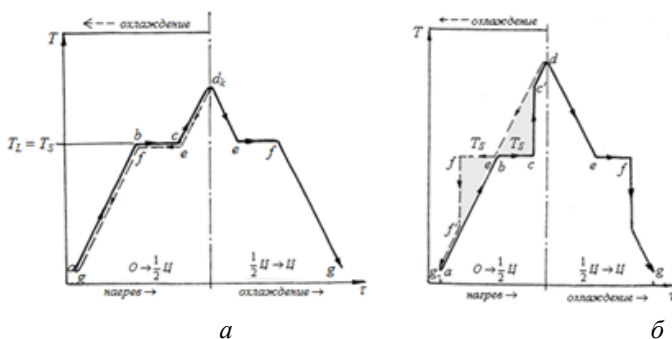


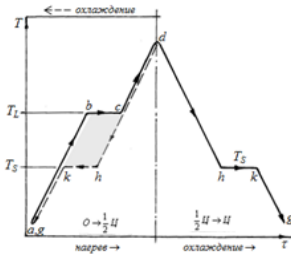
Рисунок 6 – Схематические термограммы, характеризующие отсутствие температурного гистерезиса без учета (а) и с учетом (б) энтальпий фазовых переходов.

При зеркальном отражении пунктирная линия охлаждения совпадает с кривой нагревания. Видно, что нет петли гистерезиса и нет разницы между температурами плавления T_L и кристаллизации T_S , а также между энтальпиями плавления ΔH_{LS} и кристаллизации ΔH_{SL} , т.е., $T_L = T_S$, $\Delta H_{LS} = \Delta H_{SL}$.

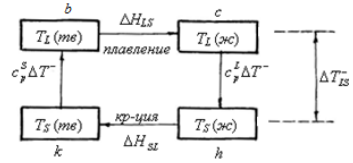
На кривых нагревания и охлаждения не обозначены эндо- и экзотермические явления поглощения и выделения теплоты, сопровождающие соответствующие фазовые переходы. Рассмотрим реальные формы кривых (рис. 6, б), учитывающие эти процессы. Как видим, при правильной записи кривые нагревания и охлаждения не накладываются друг на друга, как на рис. 6, а. И если температура кристаллизации T_S совпадает с температурой плавления T_L , то площади фигур $bcd\bar{b}$ (эндоэффект) и $eff\bar{b}$ (экзоэффект) смещены друг относительно друга. Вопрос в том, характеризует ли подобное смещение тепловой гистерезис. Кстати, при записи эндо- и экзотермических эффектов плавления и кристаллизации методом ДТА соответствующие пики также смещаются друг относительно друга.

Проанализируем теперь термограммы нагревания и охлаждения в случае, когда равновесная кристаллизация происходит при температуре $T_S < T_L$. На рис. 7, а показаны подобные кривые, на которых нет участков, характеризующих поглощение и выделение теплоты фазовых переходов. Сопоставляя кривые нагревания (сплошная линия) в период от нуля до $\frac{1}{2}C$ с кривой охлаждения (пунктирная линия) в период от

$\frac{1}{2}C$ до C , видим отчётливую фигуру петли гистерезиса $bchkb$. Особо отметим тот факт, что как плавление, так и кристаллизация являются изотермическими. Т.о., при наличии своеобразного переохлаждения ΔT_{LS}^- имеет место равновесная кристаллизация при T_S .



a



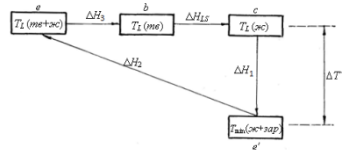
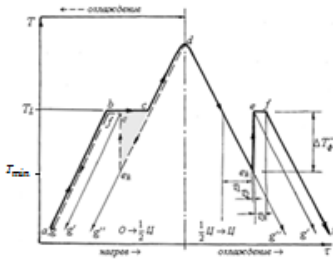
б

Рисунок 7 – Термограмма, характеризующая термический гистерезис первого рода (a) и схема изменения энтальпий фазовых превращений (б).

Назовем явление, рассмотренное на рис. 7, a термическим гистерезисом первого рода (ТГ-I). Схема изменения энтальпий плавления и кристаллизации при ТГ-I, представлена на рис. 7, б.

Из нее следует, что энтальпия плавления ΔH_{LS} отличается от энтальпии кристаллизации ΔH_{SL} . Для установления связи между ΔH_{LS} и ΔH_{SL} обратимся к петле гистерезиса (рис. 7, a). Она состоит из двух изотерм bc, hk и двух участков с нагревом ($k \rightarrow b$) твёрдой фазы и охлаждением ($c \rightarrow h$) жидкой фазы. Тогда для кругового процесса $k \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow h \rightarrow k$, очевидно $c_p^S \Delta T_{LS}^- + \Delta H_{LS} = c_p^L \Delta T_{SL}^- + \Delta H_{SL}$, откуда в первом приближении вычисляем энтальпию кристаллизации ΔH_{SL} по формуле $\Delta H_{SL} = \Delta H_{LS} - \Delta c_p \Delta T_{LS}^-$.

Гистерезис второго рода (ТГ-II) возникает при сопоставлении процессов плавления и неравновесной кристаллизации из переохлажденного состояния. Проанализируем термограммы нагревания $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ и охлаждения $d \rightarrow e_k \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g$, показанные на рис. 8, a.



a
б

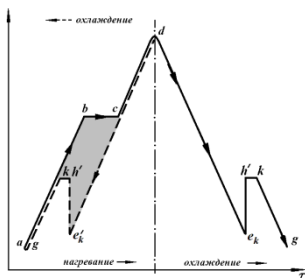
Рисунок 8 – Термограмма, характеризующая термический гистерезис второго рода (*a*) и схема изменения энтальпий фазовых превращений (*б*).

В данном случае кристаллизация начинается при температуре T_{\min} (точка e_k), затем за счёт взрывной кристаллизации температура поднимается до температуры плавления T_L . В результате затвердевает лишь часть β жидкой фазы. Далее идет изотермическая докристаллизация оставшейся части $(1 - \beta)$ расплава за время τ_3 по пути $e \rightarrow f$ при температуре $T_S = T_L$. При наложении кривых виден гистерезисный эффект в виде заштрихованного треугольника $see_k c$. Подобное явление характерно только для начальной стадии кристаллизации макрообъектов, т.е. для этапа зародышеобразования за инкубационный период τ_1 и время τ_2 коагуляции зародышей [5]. Если уменьшать массу вещества, то кристаллизация может завершиться либо в точке e (по пути $d \rightarrow e_k \rightarrow e \rightarrow g'$), либо в точке e_k (по пути $d \rightarrow e_k \rightarrow g''$) и т.д. Для микро- и нано-частиц температура T_{\min} может опускаться гораздо ниже T_{\min} , что приведет к значительному уменьшению величины термического гистерезиса.

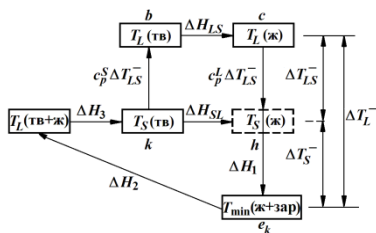
Схема изменения энтальпий при ТГ-II (рис. 8, б) в соответствии с термограммой 8, *a* показывает, что общая энтальпия кристаллизации состоит из трех составляющих (энтальпий ΔH_1 зародышеобразования, ΔH_2 коагуляции и ΔH_3 докристаллизации):

$$\Delta H_{SL} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3.$$

Еще более замысловатые гистерезисные фигуры вырисовываются при наложении друг на друга кривых нагрева и охлаждения, получаемых в реальных условиях при температуре докристаллизации T_S равной температуре плавления T_L , а также комбинированного гистерезиса, сочетающего в себе термические гистерезисы первого и второго рода при $T_S < T_L$. При комбинированном гистерезисе $\Delta H_{LS} \neq \Delta H_{SL}$, $T_S < T_L$, $T_L - \text{const}$, $T_S - \text{const}$ $\Delta T_L^- = \Delta T_{LS}^- + \Delta T_S^-$, где ΔT_L^- и ΔT_S^- - переохлаждения относительно температур T_L и T_S , а $\Delta T_{LS}^- = T_L - T_S$.



б)



а)

Рисунок 9 – Термограмма, характеризующая термический гистерезис комбинированного типа, сочетающего в себе термические гистерезисы первого и второго рода (а) и схема изменения энтальпий фазовых превращений (б).

Рассмотрим пути изменения энергий Гиббса для жидкой G_L и твердой G_S фаз (рис. 10) при повышении и понижении температуры.

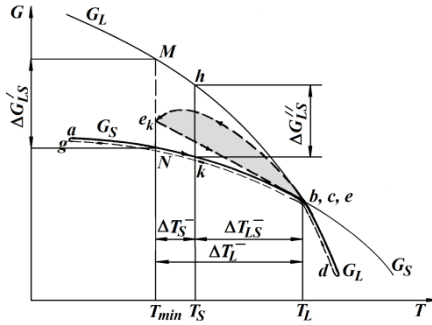


Рисунок 10 – Зависимость энергий Гиббса для жидкой и твердой фаз от температуры при ТГ - I и ТГ-II.

Очевидно, что пути $((a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d)$ и $(d \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g)$ соответственно в отсутствие ТГ будут проходить точно так же, как и на термограмме рис. 6, а. Если направление изменения энергии Гиббса в одну сторону $(a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d)$ не совпадает с направлением в обратную сторону $(d \rightarrow c \rightarrow h \rightarrow k \rightarrow g)$ в соответствии с рис. 7, а, то образуется петля $bhkb$ термического гистерезиса ТГ-I. Получается, что при наличии движущей силы кристаллизации ΔG_{LS} и переохлаждении ΔT_{LS}^- , процессы затвердевания при T_S , и плавления при T_L , происходят изотермически, т.е. равновесно.

Для анализа поведения энергий Гиббса в случае ТГ-II проанализируем функции $G_L(T)$ и $G_S(T)$. С учетом процесса зародышеобразования кривая $G_L(T)$ ниже температуры плавления T_L должна сближаться к кривой $G_S(T)$ по пути $b \rightarrow e_k$. При равновесной кристаллизации путь изменения энергий Гиббса $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow g$ совпадает с направлением в обратную сторону при нагревании $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$, как и на термограммах рис. 6 и 7. После охлаждения расплава, неравновесной кристаллизации от температуры T_{min} и охлаждения твердой фазы до точки e_k энергия $G(T)$ должна меняться в направлении $d \rightarrow e_k \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow g$ а при нагревании (с

учетом плавления) по пути $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$. Вместе эти кривые образуют своеобразную гистерезисную фигуру. Для изображения путей изменения функции $G(T)$ после начала кристаллизации возможны варианты. Либо она должна меняться по направлению $M \rightarrow N$, тогда завершение процесса затвердевания должно происходить при температуре T_{\min} с дальнейшим подъемом температуры от T_{\min} до T_L , чего в принципе быть не может. Либо по направлению $M \rightarrow b(c)$. Однако, в данном случае, не учитываются процессы зародышеобразования, а структура жидкости остается идеальной, как и выше температуры плавления. С учетом процесса зародышеобразования кривая $G_L(T)$ ниже температуры плавления T_L должна сближаться к кривой $G_S(T)$ по пути $b \rightarrow e_k$. Следует учитывать ещё одно немаловажное обстоятельство: весь процесс затвердевания состоит из трёх составных частей – зародышеобразования за инкубационный период τ_1 , коагуляции зародышей за время τ_2 и дальнейшей изотермической кристаллизации за время τ_3 . Коагуляции зародышей начинается только в случае достижения критической границы метастабильного состояния, т.е. температуры T_{\min} в одной точке e_k с последующим быстрым подъёмом температуры до T_L (по прямой $e_k \rightarrow e$). Эти этапы и особенности должны также быть отражены на графиках $G_L(T)$ и $G_S(T)$. Поэтому остаётся один вариант, показанный на рис. 10. В данном случае проявляется своеобразная петля (см. замкнутую заштрихованную область, ограниченную пунктиром), свидетельствующая о гистерезисном характере изменения энергий Гиббса, т.к. при нагревании они меняются по направлению $a \rightarrow b(c) \rightarrow d$, а при охлаждении по направлению $d \rightarrow e_k \rightarrow e(f) \rightarrow a(g)$.

Список литературы:

1. Левенберг В.Д., Ткач М.Р. Аккумулирование тепла [Текст] / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач – Киев: «Техника», 1991. 112 с.
2. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии [Текст] / Г. Бекман, П. Гилли М: «Мир», 1987. 260 с.

3. Бабаев Б.Д., Данилин В.Н. Стеновая панель здания [Текст] / Б.Д. Бабаев, В.Н. Данилин – Патент №2223451, РФ, 2004.
4. Волшаник В.В. Энергоэффективность стеновой панели с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом [Текст] / В.В. Волшаник, Б.Д. Бабаев // Кровельные и изоляционные материалы, 2012. №3. С. 13-15.
5. Шишкин Н.Д. Комбинирование и эффективное использование источников тепловой энергии в автономных теплоэнергетических комплексах, включая возобновляемые источники [Текст] / Н.Д. Шишкин // Дисс. докт. технических наук 01.04.14 – М: РГБ, 2005. 3-12 с.
6. Ресснер Ф., Рудков О.Б., Альбинская Ю.С., Иванова Е.А., Перцев В.Т. Применение микрокапсулированных ТАМ с фазовым переходом в строительстве [Текст] / Ф. Ресснер, О.Б. Рудков, Ю.С. Альбинская и др. // Весник Воронежского гос. архитектурно-строительного университета, 2012. С. 64-70.
7. Петрюк И.П., Каблов В.Ф., Гайдадин А.Н., Огрель А.М. Теплоаккумулирующий материал [Текст] / И.П. Петрюк, В.Ф. Каблов, А.Н. Гайдадин, А.М. Огрель Патент RU 2161174, 2006.
8. Пат. № 33399А. Украина. Спосіб термічного аналізу / В.Д.Александров [и др.]; заявитель и патентообладатель Донбасская национ. академия строительства и архитектуры 99020930; заявл. 18.02.1992; опубл. 15.02.2001.
9. Пат. № 83721. Украина. Спосіб сумісного циклічного диференційного термічного аналізу / Александров В.Д. [и др.]; заявитель и патентообладатель Донбасская национ. академия строительства и архитектуры А200608831; заявл. 07.08.2006; опубл. 11.08.2008.
10. Соколов Д.Н., Сдобников Н.Ю., Комаров П.В., Самсонов В.М. Гистерезис температур плавления и кристаллизации наночастиц металлов // Стросние и св-а металлов и шлаковых расплавов: в 4 т: Труды XIII рос. конф. (Екатеринбург, 12-16 сент. 2011, РАН, секция физ.-хим. основ металлург. процессов), 2001. С. 26-29.
11. Климов В.А., Тимофеева И.О., Ханин С.Д., Шадрин Е.Б. и др. Формирование петли температурного гистерезиса при фазовом переходе металл-полупроводник в плёнках диоксида ванадия // ЖТФ, 2002. Т. 72, № 9. С. 67-74.
12. Боряняк Л.А., Чернышов А.П. Температурный гистерезис при плавления и кристаллизации нанообъектов // Научный вестник Новосибирского гос. техн. ун-та, 2014, № 1 (54), С. 172-179.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

**Богданов В.С., д-р. техн. наук, проф.,
Латышев С.С., канд. техн. наук, проф.,
Романенко В.С., инженер,
Богданов Н.Э., магистр,
Трубаева В.А., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«р_офи_м» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г.Шухова*

Тонкое измельчение в строительной отрасли является одной из самых энергоемких стадий производства. Процесс измельчения является одним из основных в производстве большинства строительных материалов. В настоящее время перспективным методом помола является измельчение путем сжатия слоя материала, между измельчающими поверхностями, там образуется критическая зона, где развивается сжимающее усилие, превосходящее предел прочности материала [1-6].

Для выявления основных факторов, влияющих на процесс измельчения, а также для установления параметров оптимизации, были проведены эксперименты.

Одним из важнейшей характеристикой работы горизонтальной валковой мельницы, является величина производительности мельницы. В результате статистической обработки результатов экспериментов нами получено следующее уравнение регрессии в кодированном виде:

$$Q = 166,752 + 7,116x_1 - 3,684x_2 + 3,546x_3 + 3,882x_4 + 1,62x_1^2 + \quad (1) \\ - 0,444x_2^2 - 0,57x_3^2 - 0,042x_4^2 + 0,024x_1x_2 + 0,036x_1x_3 + 0,012x_1x_4 + \\ + 0,216x_2x_3 + 0,012x_2x_4 + 0,018x_3x_4.$$

Анализ уравнения регрессии 1 показывает:

Наибольшее влияние на величину производительности оказывает частота вращения барабана мельницы – фактор x_1 , коэффициент при котором имеет максимальное значение, так как знак при x_1 положительный, то с увеличением x_1 производительность ГВМ

возрастает, а с уменьшением снижается. Остальные факторы, такие как, величина усилия прижатия валков к барабану (фактора x_2), величина зазора между барабаном и первым, а также вторым валками (факторы x_3 и x_4) имеют примерно равное влияние, которое в 2 раза меньше, чем влияние фактора x_1 .

В частности влияние фактора x_2 – величины усилия прижатия валков к барабану, оказывает отрицательное влияние на величину производительности, так как знак при x_2 отрицательный, и по сравнению с фактором x_1 имеет влияние в 1,93 раза меньше. Влияние фактора x_3 – величины зазора между барабаном и первым валком, оказывает положительное влияние на производительность мельницы, так как знак при x_3 положительный, и в сравнении с фактором x_1 имеет влияние в 2 раза меньшее. Влияние фактора x_4 – величины зазора между барабаном и вторым валком, оказывает положительное влияние на производительность, и в сравнении с фактором x_1 имеет влияние в 1,83 раза меньшее.

Если весовое влияние фактора x_1 на величину производительности ГВМ составляет 4,26%, то фактора x_2 – 2,21%, фактора x_3 – 2,13%, и фактора x_4 – 2,33%.

Это соответствует физической сущности процесса измельчения в ГВМ. Основное влияние на величину производительности оказывает значение частоты вращения барабана мельницы. Второе, по весовому значению на величину производительности, влияние оказывает пропускная способность мельницы, т.е. величина поперечного сечения щели между барабаном и валками, которая характеризуется величиной коэффициентов при факторах x_2 , x_3 и x_4 . Отрицательный знак при факторе x_2 объясняется тем, что с увеличением усилия прижатия валков к барабану уменьшается поперечное сечение щели между барабаном и валками, и соответственно производительность падает. Это очевидно и не требует дополнительных пояснений.

Положительные знаки при факторах x_3 и x_4 объясняются тем, что с увеличением зазора между барабаном и валками, увеличивается и поперечное сечение щели, и соответственно производительность ГВМ увеличивается. Это также очевидно и не требует дополнительных пояснений, что подтверждает адекватность полученного нами уравнения регрессии 1.

Изменение зазора на первом валке, оказывает большее влияние на величину производительности мельницы, по сравнению с изменением зазора на втором валке. Так, например, при изменении величины зазора на первом валке от $b_1 = 2$ мм до $b_1 = 6$ мм (при этом частота вращения

барабана постоянна и равна $n = 100$ об/мин) производительность увеличивается от $Q = 153$ кг/ч до $Q = 174,96$ кг/ч, то есть при увеличении зазора в 3 раза производительность увеличивается на величину $Q = 21,96$ кг/ч или на 12,55%, в то же время при изменении величины зазора на втором валке от $b_2 = 2$ мм до $b_2 = 6$ мм производительность увеличивается от $Q = 145,02$ кг/ч до $Q = 185,94$ кг/ч, то есть при увеличении зазора в 3 раза производительность увеличивается на величину $Q = 40,92$ кг/ч или на 22%, что меньше на $Q = 18,96$ кг/ч или 46,33%, по сравнению с первым валком.

На рисунках 1 – 4 представлены наиболее характерные результаты экспериментальных исследований: $Q=f(x_1)$, $Q=f(x_2)$, $Q=f(x_3)$, $Q=f(x_4)$.

Из рисунка 1 следует, что с увеличением частоты вращения барабана n , производительность мельницы возрастает при любых значениях усилий в пружинах $F_{\text{ПР}}$ устройства для прижима валков.

Например, при усилии в пружинах устройства для прижима валков равном $F_{\text{ПР}} = 1050$ Н и частоте вращения барабана равной $n = 91$ об/мин производительность равна $Q = 144$ кг/ч, а при $n = 109$ об/мин и том же $F_{\text{ПР}}$, $Q = 169,2$ кг/ч, т.е. возрастает на 14,89% или на 25,2 кг/ч. При $F_{\text{ПР}} = 700$ Н и $n = 91$ об/мин $Q = 163,02$ кг/ч, а при увеличении до $n = 109$ об/мин и том же $F_{\text{ПР}}$, $Q = 195$ кг/ч, т.е. возрастает на 16,4%.

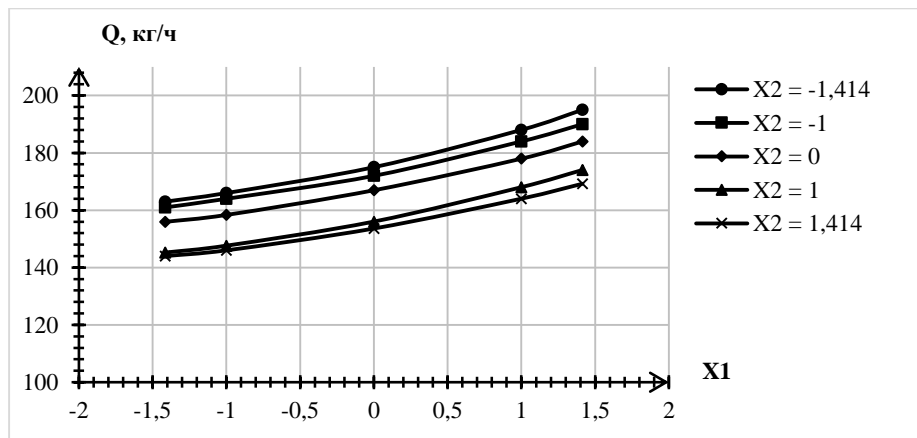


Рисунок 1 – Зависимость $Q = f(x_1)$ при $x_2 = \text{var}$; $x_3 = 0$; $x_4 = 0$

Из рисунка 2 следует, что все графические зависимости $Q = f(x_2)$ – линейные убывающие. При этом, чем больше величина зазора между барабаном и первым валком b_1 , тем менее существенно убывает

величина производительности ГВМ, с увеличением усилия в пружинах устройства для прижима валков $F_{пр}$.

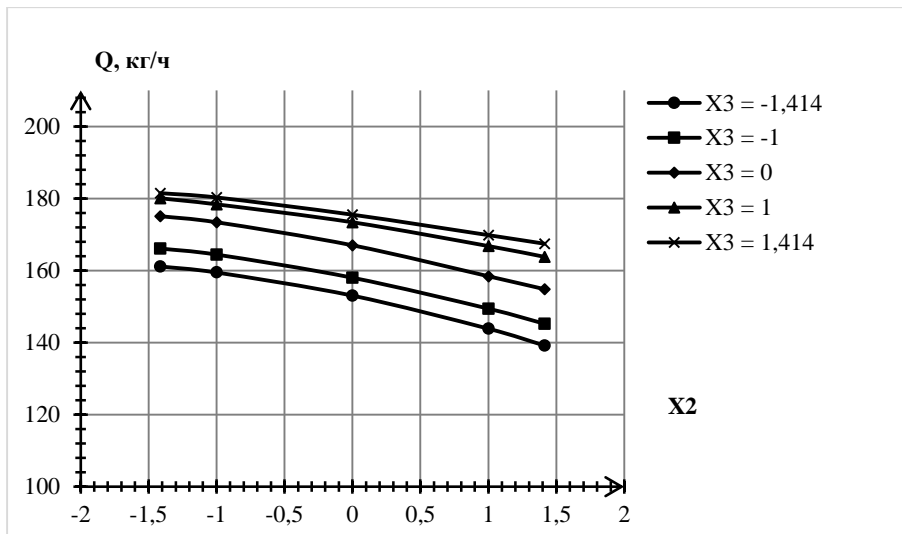


Рисунок 2 – Зависимость $Q = f(x_2)$ при $x_3 = var$; $x_1 = 0$; $x_4 = 0$

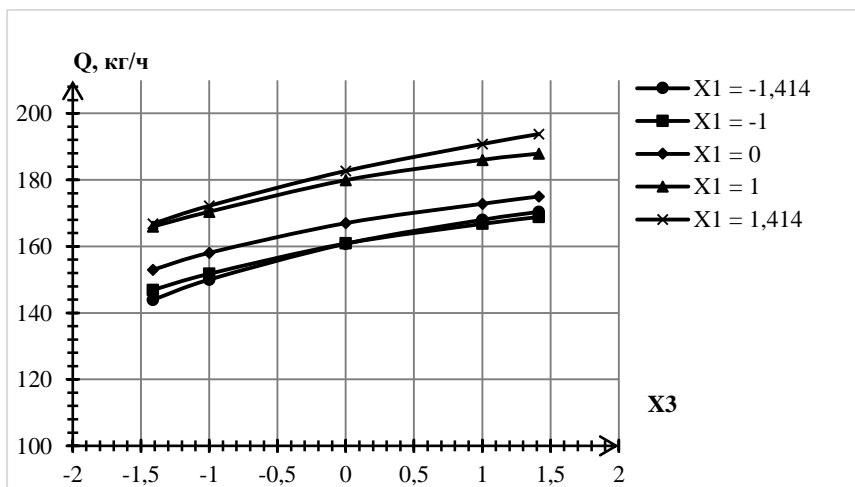


Рисунок 3 – Зависимость $Q = f(x_3)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_4 = 0$

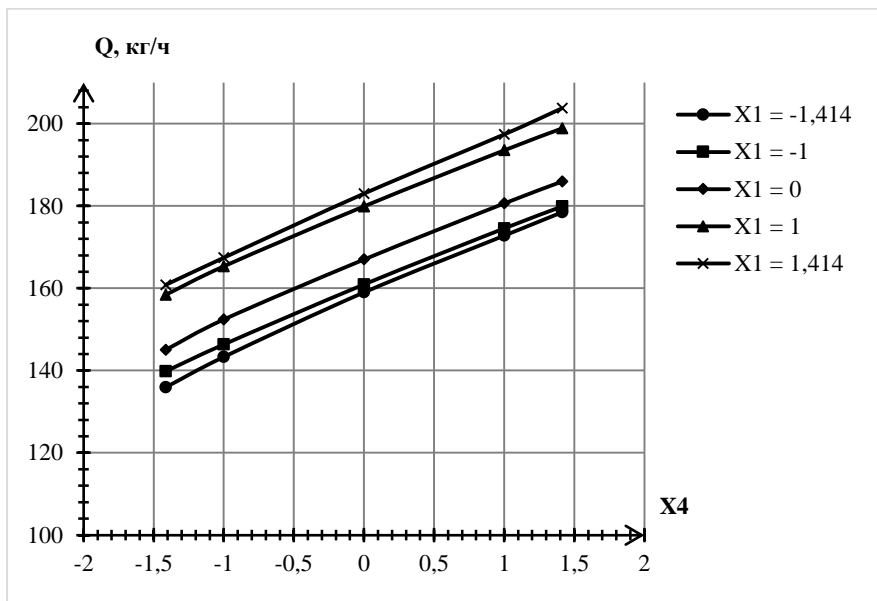


Рисунок 4. Зависимость $Q = f(x_4)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_3 = 0$

Например, при $b_1 = 2$ мм и $F_{ПР} = 700$ Н производительность мельницы составляет $Q = 161,16$ кг/ч, а при $F_{ПР} = 1050$ Н – $Q = 139,2$ кг/ч. В то же время при $b_1 = 6$ мм и $F_{ПР} = 700$ Н – $Q = 181,5$ кг/ч, а при $F_{ПР} = 1050$ Н – $Q = 167,4$ кг/ч. Это объясняется тем, что с увеличением усилия в пружинах устройства для прижима валков, происходит уменьшение расстояния между валком и барабаном, в процессе измельчения расстояние между валками и барабаном состоит из двух составляющих: зазор обусловленный настройкой зазора устройством, а также зазор образующийся в процессе сжатия пружин устройства для прижима валков. Сокращение убывания величины производительности обусловлено уменьшением влияния на зазор второй составляющей, это соответствует режиму работы ГВМ и не требует дополнительных пояснений.

Результаты графических зависимостей, представленных на рисунке 3 – $Q = f(x_3)$ рисунке 4 – $Q = f(x_4)$ полностью совпадают с выводами сделанными выше в отношении уравнения регрессии 1.

Список литературы:

1. Bogdanov V.S. Definition of Rational Con-ditions of Materials Grind-ing in Energy-Saving Mill-ing Complex / A.A. Romanovich, N.D. Vorobyov. World Applied Sciences Journal 25 (2): 214-221, 2013.
2. Богданов В.С. Методика проектирования энергообменных футеровок шаровых барабанных мельниц / П.А. Хахалев. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. №1. С. 67-72.
3. Богданов В.С. Кинетика движения загрузки в вибровращательной мельнице / А.Ю. Гаврунов. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. №4. С. 100-102
4. Богданов В.С. Процессы в производстве строительных материалов и изделий / Ю.М. Фадин, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. Белгород, «Везелица», 2007. 512 с.
5. Богданов В.С. Технологические комплексы и оборудование предприятий промышленности строительных материалов / С.Б. Булгаков, Г.Д. Федоров. Белгород, «Везелица», 2007, 446 с.
6. Богданов, В. С. Расчет усилий в деталях горизонтальной валковой мельницы / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. / под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2010. Вып. IX. с. 71-72.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

**Богданов В.С., д-р. техн. наук, проф.,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,
Романенко В.С., инженер,
Еремченко С.М., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«r_офи_m» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова*

В последнее время наиболее перспективным методом среднего и тонкого помола является измельчение путем сжатия слоя материала, между цилиндрическими измельчающими поверхностями, там образуется критическая зона, где развивается сжимающее усилие, превосходящее предел прочности материала [1-6]. Этот метод измельчения используется в горизонтальной валковой мельнице.

Для выявления основных факторов, влияющих на процесс измельчения, а также для установления параметров оптимизации, были проведены эксперименты.

Одной из важнейших характеристик работы горизонтальной валковой мельницы является величина мощности потребляемой приводом. В результате статистической обработки результатов экспериментов нами получено следующее уравнение регрессии в кодированном виде:

$$P = 3646,56 + 29,88x_1 + 14,47x_2 + 20,31x_3 + 13,72x_4 + 16,78x_1^2 + \quad (1) \\ + 1,27x_2^2 + 4,27x_3^2 - 0,98x_4^2 - 1,56x_1x_2 + 2,19x_1x_3 + 2,31x_1x_4 + \\ + 0,56x_2x_3 + 0,44x_2x_4 + 3,94x_3x_4.$$

Анализ уравнения регрессии (1) показывает:

Наибольшее влияние на величину потребляемой мощности оказывает частота вращения барабана мельницы – фактор x_1 , коэффициент при котором имеет максимальное значение, величина зазора между барабаном и первым валком (фактор x_3), так же существенно влияет на изменение потребляемой мощности привода мельницы, но его влияние в 1,47 раза меньше, чем влияние фактора x_1 .

Влияние фактора x_2 – величины усилия прижатия валков к барабану и x_4 – величины зазора между барабаном и вторым валком в сравнении с факторами x_1 и x_2 меньше, но соизмеримо с ними. Если весовое влияние фактора x_1 на величину потребляемой мощности привода ГВМ составляет 0,82%, фактора x_3 – 0,56%, то факторов x_2 – 0,39%, x_4 – 0,37%.

Это соответствует физике процесса расхода потребляемой мощности привода. Основная доля потребляемой мощности расходуется на вращение рабочих органов мельницы (барабана и валков) и измельчение материала. Это характеризуется величиной коэффициентов при факторах x_1 , x_2 , x_3 и x_4 . Мощность расходуется на преодоление трения на ноже отклоняющего устройства о внутреннюю поверхность барабана, незначительна по сравнению с мощностью затрачиваемой на вращение барабана, исследование этого фактора в данной работе не приводится.

Положительные знаки при факторах x_1 , x_2 , x_3 , x_4 говорят о том, что с увеличением любого из них потребляемая мощность привода возрастает. В отношении факторов x_1 и x_2 этот вывод очевиден и подтверждается далее проведенными нами исследованиями, что так же подтверждает адекватность полученного нами уравнения регрессии 1.

Увеличение P с увеличением x_3 и x_4 требует дополнительных пояснений.

С увеличением факторов x_3 и x_4 – величины зазоров между барабаном, первым и вторым валками, увеличивается вибрация, биение барабана и как следствие возрастает сила трения в опорах барабана, это в свою очередь приводит к увеличению затрат мощности.

При этом изменение зазора на первом валке, оказывает большее влияние на величину потребляемой мощности, по сравнению с изменением зазора на втором валке. Так, например, при изменении величины зазора на первом валке от $b_1 = 2$ мм до $b_1 = 6$ мм (при этом частота вращения барабана постоянна и равна $n = 100$ об/мин) мощность увеличивается от $P = 3594$ Вт до $P = 3715$ Вт, то есть при увеличении зазора в 3 раза мощность увеличивается на величину $P = 121$ Вт или на 3,25%, в то же время при изменении величины зазора на втором валке от $b_2 = 2$ мм до $b_2 = 6$ мм мощность увеличивается от $P = 3594$ Вт до $P = 3694$ Вт, то есть при увеличении зазора в 3 раза мощность увеличивается на величину $P = 100$ Вт или на 2,71%, что меньше на $P = 21$ Вт или 21%, по сравнению с первым валком.

На рисунках 1 – 4 представлены наиболее характерные результаты экспериментальных исследований: $P=f(x_1)$, $P=f(x_2)$, $P=f(x_3)$, $P=f(x_4)$.

Из рисунка 1 следует, что с увеличением частоты вращения барабана n , потребляемая мощность привода мельницы возрастает при любых значениях усилий в пружинах $F_{ПР}$ устройства для прижима валков.

Например, при усилиях в пружинах устройства для прижима валков равном $F_{ПР} = 1050$ Н и частоте вращения барабана равной $n = 91$ об/мин потребляемая мощность привода равна $P = 3663$ Вт, а при $n = 109$ об/мин и том же $F_{ПР}$, $P = 3768$ Вт, т.е. возрастает на 2,79% или на 105 Вт. При $F_{ПР} = 700$ Н и $n = 91$ об/мин $P = 3590$ Вт, а при увеличении до $n = 109$ об/мин и том же $F_{ПР}$, $P = 3697$ Вт, т.е. возрастает на 2,89%.

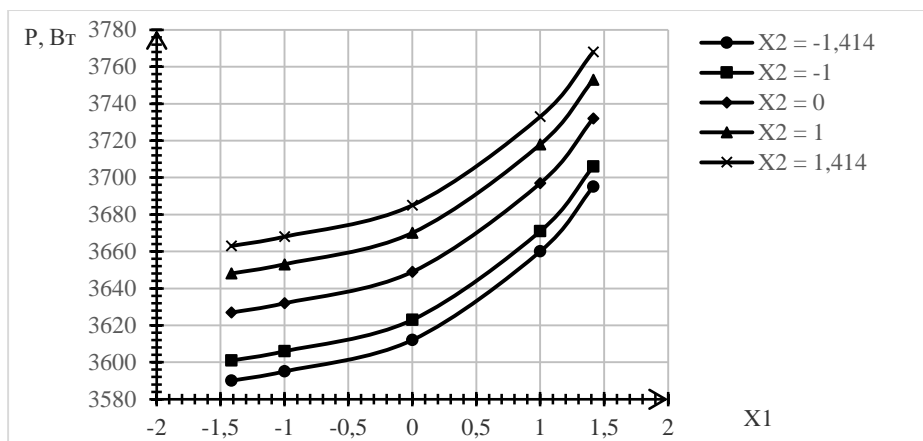


Рисунок 1 – Зависимость $P = f(x_1)$ при $x_2 = var$; $x_3 = 0$; $x_4 = 0$

Из рисунка 2 следует, что все графические зависимости $P = f(x_2)$ практически линейные возрастающие. При этом, чем больше величина зазора между барабаном и первым валком b_1 , тем менее существенно возрастает величина потребляемой приводом ГВМ мощности, с увеличением усилия в пружинах устройства для прижима валков $F_{ПР}$.

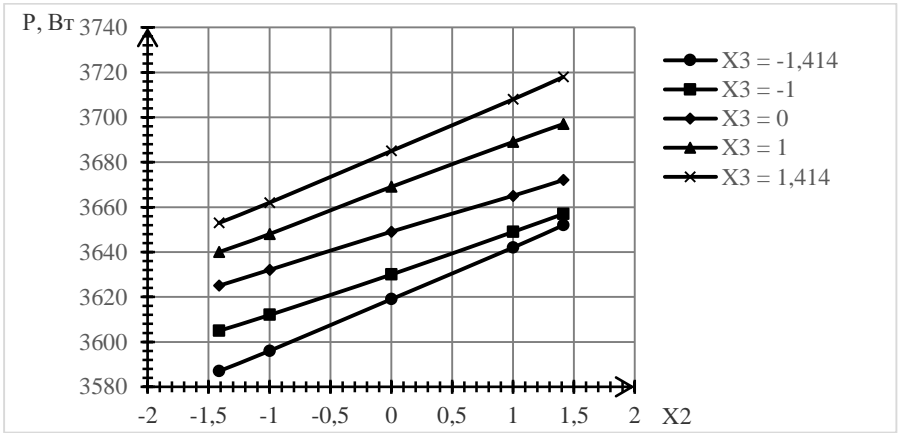


Рисунок 2 – Зависимость $P=f(x_2)$ при $x_3 = var$; $x_1 = 0$; $x_4 = 0$

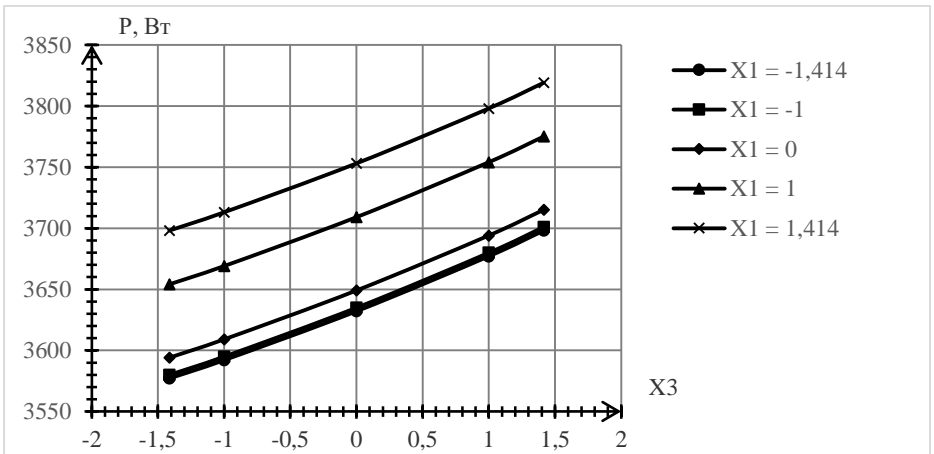


Рисунок 3 – Зависимость $P=f(x_3)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_4 = 0$

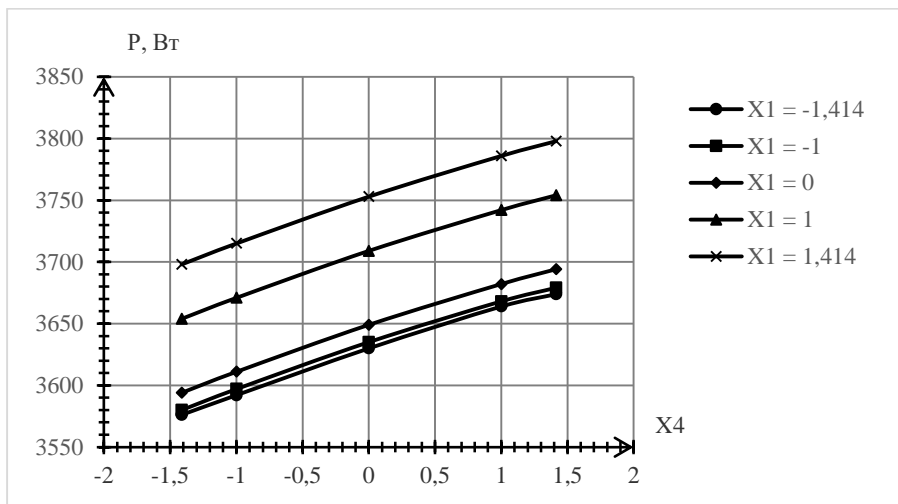


Рисунок 4. Зависимость $P = f(x_4)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_3 = 0$

Например, при $b_1 = 2$ мм и $F_{\text{ПР}} = 700$ Н мощность привода составляет $P = 3587$ Вт, а при $F_{\text{ПР}} = 1050$ Н – $P = 3652$ Вт. В то же время при $b_1 = 6$ мм и $F_{\text{ПР}} = 700$ Н – $P = 3653$ Вт, а при $F_{\text{ПР}} = 1050$ Н – $P = 3718$ Вт. Это соответствует режиму работы ГВМ и не требует дополнительных пояснений.

Результаты графических зависимостей, представленных на рисунке 3 – $P = f(b_1)$ рисунке 4 – $P = f(b_2)$ полностью совпадают с выше сделанными выводами в отношении уравнения регрессии (1).

Список литературы:

1. Bogdanov V.S. The Power Consumption Calculation of a Ball Drum Mill / S.I. Antsiferov, N.E. Bogdanov. // Middle-East Journal of Scientific Research 2013. Т.18. №10 С. 1448-1454.
2. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Латышев С.С., Определение производительности трубной мельницы, оснащенной классифицирующим устройством // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 98-101.
3. Богданов В.С. Гаврунов А.Ю., Кинетика движения загрузки в вибровращательной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 100-102.
4. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Воронов В.П., Велентеенко П.Н., Математическое описание движения загрузки в ТШМ при

- сверхкритических скоростях вращения барабана // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2008. №3. С. 41-43.
5. Богданов, В С., Романенко В.С., Уравнение кинетики процесса измельчения в горизонтальной валковой мельнице // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. №1. 2013. С. 53-57.
 6. Богданов, В.С., Романенко В.С., Определение усилия измельчения в горизонтальной валковой мельнице с учетом прочности материала // Вестник БГТУ им В Г. Шухова. №4. 2012. С. 84-87.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭНЕРГИИ ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНО ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

**Богданов В.С., д-р. техн. наук, проф.,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,
Романенко В.С., инженер,
Василенко О.С., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«р_офи_м» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова*

Для выявления основных факторов, влияющих на процесс измельчения в горизонтальной валковой мельнице, а также для установления параметров оптимизации, были проведены эксперименты.

Удельный расход энергии q , затрачиваемый на помол мраморной крошки в ГВМ определяется соотношением $q = P/Q$, то есть он зависит от величины потребляемой мощности P и производительности Q мельницы, которые определяются по уравнениям 1

Тем не менее, имея уравнение регрессии вида $q = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ мы имеем возможность дополнительно оценить комплексное влияние каждого из исследуемых факторов на такой важный экономический показатель работы ГВМ как удельный расход энергии, затрачиваемой на помол единицы массы готового продукта.

Полученное уравнение регрессии $q = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ в кодированном виде:

$$q = 21,878 - 0,767x_1 + 0,566x_2 - 0,427x_3 - 0,409x_4 - 0,086x_1^2 + \\ + 0,086x_2^2 + 0,106x_3^2 + 0,042x_4^2 - 0,036x_1x_2 + 0,017x_1x_3 + 0,044x_1x_4 - \\ - 0,049x_2x_3 + 0,001x_2x_4 - 0,002x_3x_4,$$

(1)

В полученном уравнении регрессии можно увидеть, что наибольшее влияние на удельный расход энергии оказывают такие факторы как частота вращения барабана и величина усилия прижатия валков к барабану, их суммарное влияние на удельный расход энергии составляет 61,5%, влияние величины зазоров между барабаном и валками составляет 38,5%.

Отрицательные знаки перед x_1 , x_3 , x_4 свидетельствуют о том, что с увеличением частоты вращения барабана и зазоров между барабаном и валками, удельный расход энергии уменьшается, то есть на единицу массы готового продукта энергии затрачивается меньше.

Положительный знак перед фактором x_2 свидетельствует о том, что с увеличением величины усилия прижатия валков к барабану, удельный расход энергии увеличивается. Это очевидно и не требует каких-либо дополнительных пояснений.

На рисунках 1 – 4 представлены наиболее характерные графические зависимости $q = f(x_1)$, $q = f(x_2)$, $q = f(x_3)$, $q = f(x_4)$.

Из рисунка 1 следует, что зависимости $q = f(x_1)$ при всех значениях x_2 , x_3 , x_4 – линейные убывающие. Например, при усилии в пружинах устройства для прижима валков равном $F_{\text{ПР}} = 1050$ Н и частоте вращения барабана равной $n = 91$ об/мин удельный расход энергии равен $q = 25,44$ кВт·ч/т, а при $n = 109$ об/мин и том же $F_{\text{ПР}}$, $q = 22,27$ кВт·ч/т, т.е. уменьшается на 12,46% или на 3,17 кВт·ч/т. При $F_{\text{ПР}} = 700$ Н и $n = 91$ об/мин $q = 22,02$ кВт·ч/т, а при увеличении до $n = 109$ об/мин и том же $F_{\text{ПР}}$, $q = 18,95$ кВт·ч/т, т.е. убывает на 13,94% или на 3,07 кВт·ч/т.

Зависимости $q = f(x_2)$ при $-1,414 < x_3 < 0$ – возрастающие, рисунок 4.24, а при $1 < x_3 < 1,414$ – практически линейные. Например, при $x_3 = 1,414$ удельный расход энергии в области факторного пространства ограниченного областью $-1,414 < x_2 < 1,414$ изменяется от 20,13 кВт·ч/т до 22,21 кВт·ч/т то есть на 9,37%.

При $x_3 = -1,414$ и $-1,414 < x_2 < 1,414$ удельный расход энергии изменяется от 22,26 кВт·ч/т до 26,24 кВт·ч/т то есть на 15,17%.

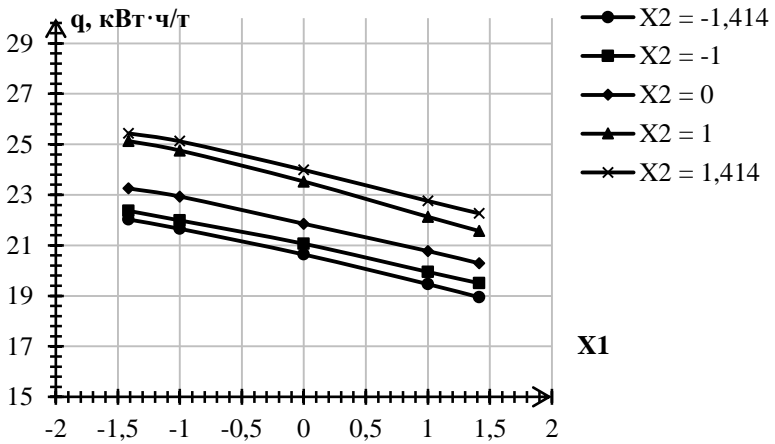


Рисунок 1 – Зависимость $q = f(x_1)$ при $x_2 = var$; $x_3 = 0$; $x_4 = 0$

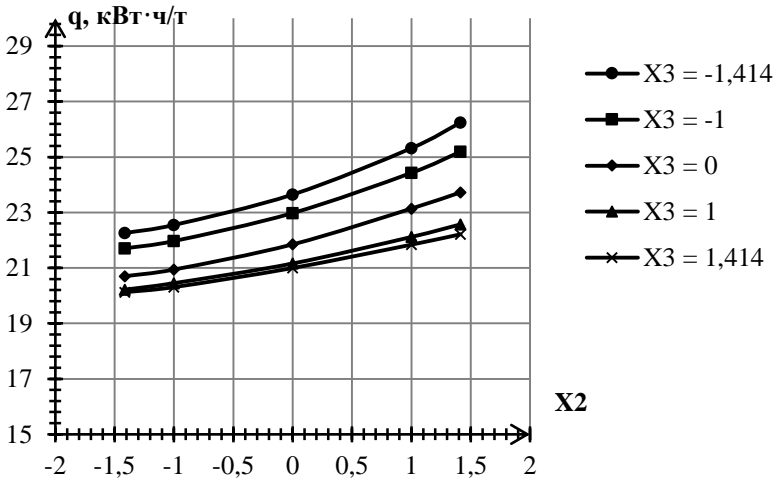


Рисунок 2 – Зависимость $q = f(x_2)$ при $x_3 = var$; $x_1 = 0$; $x_4 = 0$

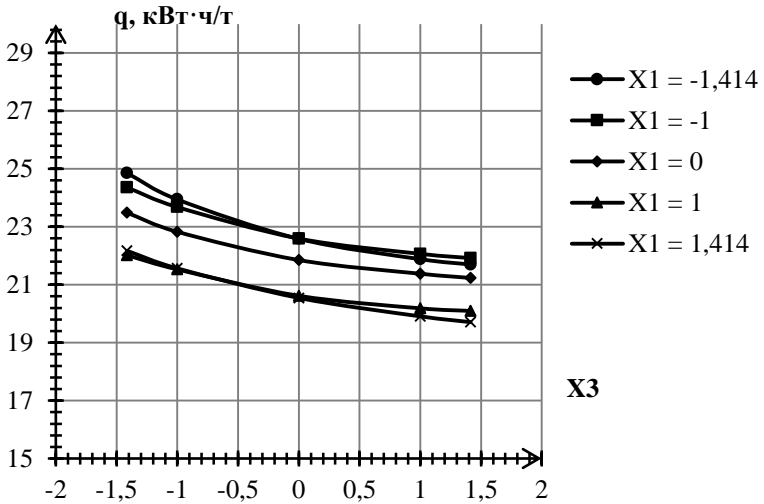


Рисунок 3 – Зависимость $q = f(x_3)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_4 = 0$

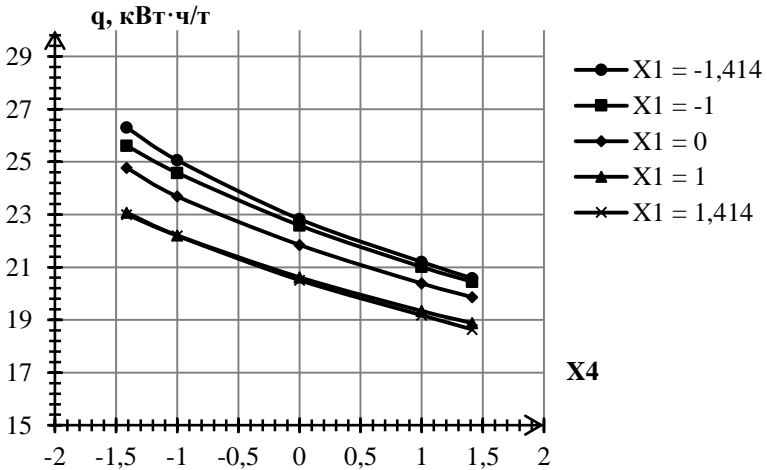


Рисунок 4 – Зависимость $q = f(x_4)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_3 = 0$

Из рисунка 3 следует, что все графические зависимости $q = f(x_3)$ – линейные убывающие. Например, с увеличением зазора между барабаном и первым валком от $b_1 = 2$ мм до $b_1 = 6$ мм, при этом частота вращения барабана постоянна и равна $n = 100$ об/мин, удельный расход энергии уменьшается от $q = 23,49$ кВт·ч/т до $q = 21,23$ кВт·ч/т, то есть

при увеличении зазора в 3 раза удельный расход энергии уменьшается на величину $q = 2,26$ кВт·ч/т или на 9,62%.

По аналогии с $q = f(x_3)$, графические зависимости $q = f(x_4)$ на рисунке 4 также линейные убывающие. При изменении величины зазора на втором валке от $b_2 = 2$ мм до $b_2 = 6$ мм и частоте вращения барабана равной $n = 100$ об/мин, удельный расход энергии уменьшается от $q = 24,78$ кВт·ч/т до $q = 19,86$ кВт·ч/т, на величину $q = 4,92$ кВт·ч/т или на 19,85%, что больше на $q = 2,66$ кВт·ч/т или на 117,69%, по сравнению с первым валком.

То есть увеличение зазора между барабаном и вторым валком, приводит к более интенсивному сокращению удельного расхода энергии, в сравнении с увеличением зазора на первом валке.

Список литературы:

1. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: Учебник для строительных вузов / В. А. Бауман, Б.В. Клущанцев, В.Д. Мартынов. М.: Машиностроение. 1981. 324 с.
2. Дамдинова, Д.Р. Машины и оборудование для измельчения и сортировки строительных материалов: учебное пособие / Д. Р. Дамдинова, В. Г. Дондуков. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ. 2004. 125 с.
3. Евменова, Г.Л. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: пособие по курсовому проектированию / Г.Л. Евменова, Г. В. Иванов, А.А. Байченко. Кемерово: ГУ КузГТУ, 2005. 96 с.
4. Дуда В. Цемент / В. Дуда; Пер. с нем. Е.Ш. Фельдмана; Под ред. Б. Э. Юдовича. М.: Стройиздат. 1981. 464 с.
5. Борщев, В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В. Я. Борщев, Ю. И. Гусев, М. А. Промтов, А. С. Тимонин. М.: «Издательство Машиностроение-1». 2006. 208 с.
6. Богданов, В. С. Горизонтально валковая мельница. Монография. Белгород Изд-во БГТУ им. Шухова, 2015. 150с.
7. Богданов, В. С. Проектирование машин и оборудования для производства строительных материалов, изделий и конструкций. БелГТАСМ, 2001г

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ГРОХОТОВ ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Веремеенко Д.В., магистрант,
Мусиенко О.М., магистрант,
Уральский В.И., канд. техн. наук, доц.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В сложившейся экономической обстановке в стране малотоннажное производство является одним из основных перспектив в развитии. Это не требует больших финансовых затрат для запуска. Можно адаптировать уже имеющиеся технологии, процессы и аппараты для малотоннажного производства.

Грохочение (рассев) – процесс разделения сыпучего материала на продукты различной крупности с помощью просеивающих поверхностей с калиброванными отверстиями, при этом получают верхний (надрешетный) и нижний (подрешетный) продукты. По технологическому назначению различают следующие виды операций грохочения: вспомогательное, подготовительное, самостоятельное.

В зависимости от размеров кусков в питании и размера отверстий сита различают: крупное, среднее, мелкое, тонкое и особо тонкое грохочение. При крупном и среднем грохочении (максимальные куски в питании соответственно 1200 и 350 мм) применяют колосниковые решетки. При мелком (до 75 мм) – решетка и сита, при тонком (до 10 мм) – сита.

Рабочие поверхности грохотов подразделяются на три вида: колосниковые решетки, штампованные решета, сита. Рабочая поверхность характеризуется размером и формой отверстий. По форме отверстия бывают: круглые, квадратные, прямоугольные, щелевидные.

По принципу действия грохоты различных типов аналогичны: просеивание мелких классов происходит при движении материала по просеивающей поверхности. Перемещение материала осуществляется под действием: силы тяжести (гравитационное перемещение), вибраций сита (вибрационное перемещение), струи воды (гидравлическое перемещение).

Многочастотный грохот ULS 1506.1 (Рис.1.) идеально подходит как для малотоннажных производств, так и для проведения технологических исследований на различных материалах с целью

последующего создания промышленных производств. Технические характеристики грохота ULS 1506.11 представлены в таблице 1.



Рисунок 1 – Грохот ULS 1506.11.

Таблица 1 – Технические характеристики

Наименование	Величин а
Количество просеивающих дек, шт	1
Габаритные размеры мм.	
Длина	1840
Ширина	1208
Высота	1623
Мотор вибратор	MVE 1700/15
Мощность, кВт	1.1
Частота вращения, об/мин	1500
Площадь просеивания, кв. м	0,7
Класс защищенности	IP 66

Благодаря небольшим габаритам, мобильности и уникальным особенностям, присущим грохотам ULS, эти машины нашли применение для фракционирования трудно разделяемых

мелкодисперсных материалов, таких как титановые пески, полиметаллические руды, золотоносная руда никелевые порошки. и т.д.

Грохот вибрационный круглый Гр5 (Рис. 2) предназначен для сухого отсева сыпучих материалов по классам крупности в непрерывном режиме. Применяется для исследовательских целей в составе полупромышленных установок и в процессах малотоннажного производства. Технические характеристики грохота вибрационного Гр 5 указаны в таблице 2.



Рисунок 2 – Грохот вибрационный Гр 5.

Таблица 2 – Технические характеристики:

Наименование	Величина
Максимальная крупность частиц рассеиваемого материала, мм	20
Количество просеивающих элементов, шт.	Не более 5
Диаметр просеивающих элементов, мм	500
Мощность электродвигателей, кВт	2x0,37
Производительность, кг/ч:	50-250
габаритные размеры, мм:	
длина:	770
ширина:	694
высота (с пятью деками):	1030
масса, кг	12

Вибрационный грохот - виброгрохот ВГ-1 (Рис.3) позволяет отсеивать песок или щебень на фракции. Также можно использовать виброгрохот для просеивания больших объемов песка или щебня и

получения конечного материала нужной фракции. За счет использования дисбалансов с низкой частотой и высокой амплитудой вибрации, возможно, просеивать влажный песок с высокой производительностью. Технические характеристики Виброгрохота ВГ-1 указаны в таблице 3

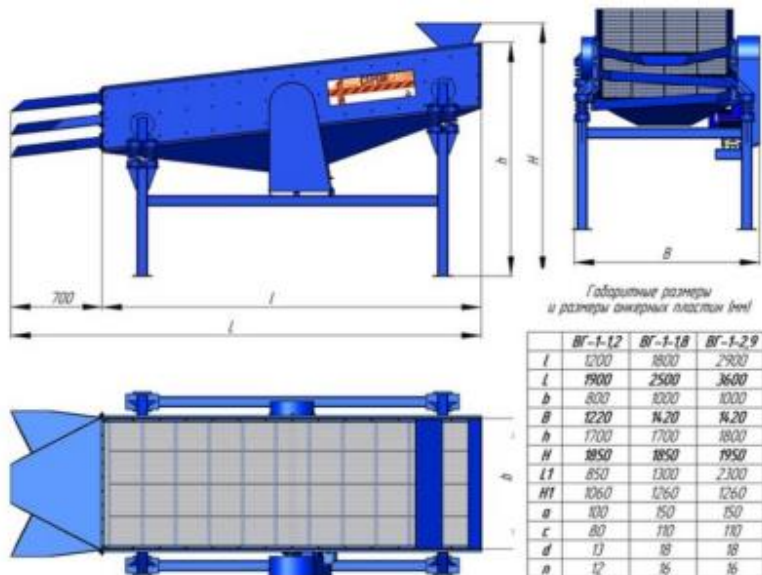


Рисунок 3 – Виброгрохот ВГ-1.

Таблица 3 – Технические характеристики

Наименование	Величина
Установленная мощность, кВт	2
Напряжения питания, В	380
Вес, кг	280
Производительность, куб.м.\час	5
Рассев на фракции, мм	2-5

Таким образом, проведенный анализ существующих конструкций грохотов для малотоннажного производства показывает, что данное направление актуально для дальнейшего развития и не многие фирмы

производят агрегаты доступные по цене и неприхотливые в работе. Ещё одним направлением в развитии может быть совмещение в одном агрегате сразу нескольких процессов, что позволит сделать малотоннажное производство более эффективным.

Список литературы:

1. Электронный ресурс./режим доступа <http://www.vtcenter.ru/device/uls15x06.htm>
2. Электронный ресурс./режим доступа <http://delo7.ru/vibracionnyj-groxot-vibrogroxot-vg-1/>
3. Электронный ресурс./режим доступа http://www.bioscorp.ru/shop/UID_14217_grohot_vibracionnyy_gr_5.html
4. В.С. Севостьянов, Н.Н. Дубинин, В.И. Уральский, М.Т. Макридина Механическое оборудование для производства керамических и огнеупорных изделий в 2 ч.: учебник/Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч.1. – 249 с.
5. А.В. Гармаш, Е.В.Сеница, Скибин Е.В. Малотоннажный технологический комплекс для производства сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. Ч11.С.155-157.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПРОЦЕСС РАЗГРУЗКИ КАМЕРЫ ПНЕВМОКАМЕРНОГО НАСОСА

**Гавриленко А.В., ассистент,
Богданов В.С., д-р. техн. наук, проф.,
Лозовая С.Ю., д-р. техн. наук, проф.,
Федин Ю.М., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«р_офи_м» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова*

Основными показателями работы пневмокамерного насоса периодического действия являются производительность, зависящая от времени разгрузки камеры, а также расход сжатого воздуха, на величину которого влияет давление в камере.

Для организации эффективного транспортирования цемента с помощью пневмокамерного насоса необходимо, чтобы в камере насоса было организовано равномерное поступление материала в зону расжижения, плавное подтекание цементно-воздушной смеси ко входу в разгрузочную трубу с минимальными сводо- и каналообразованиями, гидравлическим сопротивлением и остатком цемента в камере насоса после его разгрузки, что можно обеспечить, организовав максимальную толщину псевдооживленного слоя.

Цикл работы насоса состоит из времени загрузки камеры материалом и времени его разгрузки, которое зависит от объема камеры. Исследуя разработанный пневмокамерный насос с новым мультисопловым аэрационным устройством, сопла которого имеют углы поворота и изгиба, эксперименты показали, что на производительность и удельный расход пневмотранспортирования влияют следующие факторы: время разгрузки; абсолютное давление в камере насоса; высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры; диаметр разгрузочной трубы; угол раскрытия конфузора (насадки на конце разгрузочной трубы); высота расположения аэрационного устройства от днища камеры; количество сопел аэрационного устройства; диаметр сопел аэрационного устройства; угол изгиба сопла; угол поворота сопла вокруг своей оси; количество рядов

сопел; объем камеры насоса; диаметр камеры насоса; высота камеры насоса; коэффициент загрузки камеры материалом.

Анализ конструкций пневмокамерных насосов [1, 4] с верхней разгрузкой показал, что наиболее целесообразно использовать соотношение высоты камеры к ее диаметру, равным 1,3-1,7, также диаметр разгрузочной трубы связан с диаметром камеры насоса следующей зависимостью $D \approx 0,1D_k$, поэтому данные соотношения были применены при проектировании лабораторной установки.

Были проведены предварительные оценочные испытания по определению рационального угла раскрытия конфузора, величина которого влияет на количество оставшегося цемента в камере насоса после окончания разгрузки. Также нужно отметить, что угол раскрытия влияет на интенсивность вовлечения материала в разгрузочную трубу. Были изготовлены конфузоры с углами раскрытия 50°, 70°, 90°. В результате экспериментов установлено, что при угле раскрытия больше 90° загружаемый материал зависит на крыльях конфузора, а при угле 50° процесс всасывания происходит с той же интенсивностью, что и без конфузора, поэтому целесообразно применять конфузоры с углом раскрытия примерно 80°-90°.

В экспериментальных исследованиях использовались мультисопловые аэрационные устройства различных конструкций [2]. Для создания псевдооживленного слоя применялось аэрационное устройство с прямыми соплами (рис. 1). А для создания псевдооживленного слоя с вихреобразным полем было изготовлено аэрационное устройство с соплами, концы которых относительно своей вертикальной оси имеют угол изгиба 60°, а относительно радиуса, проведенного через ось сопла из центра аэрационного устройства, имеют угол поворота сопел 25° (рис. 2).

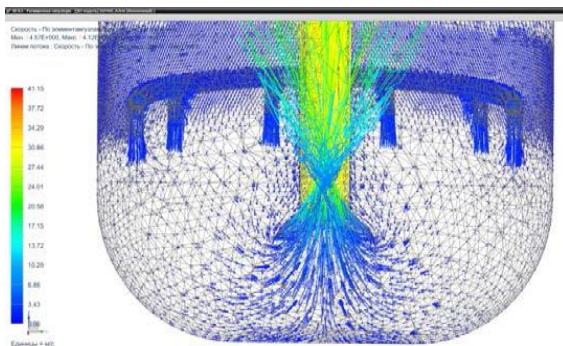


Рисунок 1 – Нижняя часть камеры насоса с мультисопловым аэрационным устройством с прямыми соплами

Угол изгиба может варьироваться в пределах $50-70^\circ$ в зависимости от размеров камеры насоса, количества и шага витков. Здесь очевидно, что чем больше размер камеры, шаг и количество витков, тем угол изгиба сопел должен быть меньше. Угол поворота сопел целесообразно изменять в пределах $15-30^\circ$, так как при угле поворота более 30° струи воздуха пересекаются и гасят друг друга, не образуя вихреобразное поле, способствующее вовлечению материала в разгрузочную трубу. При угле, меньшим 15° , происходит разделение потоков, при этом частицы, находящиеся у стенки камеры при соударении с ней будут опускаться на дно камеры, увеличивая время разгрузки. Экспериментальные исследования подтверждается результатами имитационного моделирования создания псевдооживленного слоя в камере пневмокамерного насоса в зависимости от формы и расположения сопел (рис. 1 и 2)

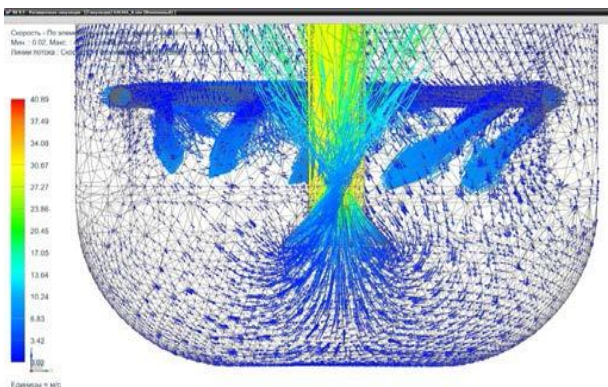


Рисунок 2 – Нижняя часть камеры насоса с мультисопловым аэрационным устройством с соплами, имеющими углы поворота и изгиба

На рис. 1 видно, что струя воздуха, выходящая из сопла, стремится к разгрузочной трубе практически по прямой траектории, и только у входа в разгрузочную трубу за счет встречи потоков воздуха, выходящих из соседних сопел, создается псевдооживленный слой, где и происходит активный процесс смешения воздуха с цементом. При этом возможно нежелательное создание поровых каналов, через которые воздух проходит, не оказывая воздействия на цемент, что является отрицательным в процессе псевдооживления. С другой стороны, у дна камеры насоса возникают так называемые мертвые зоны, в которых струи воздуха практически не оказывают полезного действия на загруженный материал, что влечет за собой увеличение времени разгрузки и расхода сжатого воздуха.

На рис. 2 хорошо просматриваются потоки, которые создаются струями воздуха, выходящего из сопел с углами поворота и изгиба. Как видно, потоки воздуха активнее действуют на цемент в зоне подачи воздуха из сопел, наиболее удаленных от разгрузочной трубы, а также у дна камеры насоса. У дна камеры ближе к центру создается вихревое поле, которое оказывает более эффективное воздействие на материал и препятствует образованию сквозных каналов, из-за чего повышается однородность распределения цемента в псевдооживленном слое. За счет действия направленных вниз и по касательной составляющих скорости струи устраняются застойные зоны и поровые каналы, что существенно влияет на расход сжатого воздуха. При этом создаваемая зона псевдооживления (рис. 2) имеет большие размеры, чем

при использовании прямых сопел (рис. 1), а это облегчает процесс вовлечения цементно-воздушной смеси в разгрузочную трубу, а, следовательно, сокращает время разгрузки камеры насоса.

При некоторых условиях, например, при агрегировании цемента повышается его насыпная плотность, поэтому часто при подаче воздуха из сопел возникают так называемые поровые или сквозные каналы, через которые воздух проходит сквозь цемент, не смешиваясь с ним и не создавая в этой области кипящего слоя.

Количество сопел, диаметр сопел, количество рядов сопел определяются в зависимости от размеров камеры насоса и диаметра разгрузочной трубы.

Известно [3], что коэффициент загрузки камеры материалом зависит от ее конструкции, а также физико-механических свойств материала варьируется в пределах 0,75-0,85, для насосов с верхней разгрузкой, как правило, используется 0,75 [3].

На основании проведенных экспериментов и исследований основными параметрами, характеризующими процесс разгрузки камеры насоса являются:

– Геометрические: (размеры камеры насоса, высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры; высота расположения аэрационного устройства от днища камеры).

– Технологические (избыточное давление в камере насоса).

Данный выбор можно обосновать тем, что в определенном интервале изменения избыточного давления в камере на дне лабораторной установки при предварительных испытаниях наблюдается наименьший остаток не выгруженного цемента. Это обусловлено тем, что диаметр разгрузочной трубы связан с такими параметрами, как высота расположения разгрузочной трубы от днища камеры и высота расположения аэрационного устройства от днища камеры.

Список литературы:

1. Богданов, В.С. Расчет параметров псевдооживленного слоя в пневмокамерном насосе / В.С. Богданов, Ю.М. Фадин, В.В. Шаптала, А.В. Гавриленко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. – С. 65–67.
2. Богданов, В.С. Расчет аэрационного устройства пневмокамерного насоса с применением системы Siemens NX / В.С. Богданов, С.Ф. Зеленков, А.В. Гавриленко, А.С. Лунев // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства

- строительных материалов: межвуз. сб. ст. / под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2014. Вып. XIII. С. 38–41.
3. Герц, Е.В. Пневматические устройства и системы в машиностроении / Е.В. Герц, А.И. Кудрявцев, О.В. Ложкин и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.
 4. Малис, А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях / А.Я. Малис. – М.: Машиностроение, 1969. – 177 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Горшков П.С., канд. техн. наук, доц.,
Бражник Ю.В., ст. преподаватель,
Магомедов М.Г., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Порошковые материалы, как компоненты строительных смесей, являются основным производственным материалом на сегодняшний день. Состав и свойства таких материалов разнообразны и подстраиваются под конкретные задачи и требования в строительстве.

Производство сухих смесей является не только одним из крупнейших сегментов строительного рынка, но и своеобразной испытательной базой, где перспективные разработки, как в области строительной химии, так и специального технологического оборудования подвергаются самой серьезной проверке и апробации [1].

Достижение минимальных энергетических затрат при получении различных смесей с высоким качеством является в настоящее время актуальной задачей и возможно за счет решения вопросов в подсистеме формирования состава и стабилизации модифицированных строительных смесей и совершенствования смешивания оборудования с возможностью использования наиболее эффективных принципов смешивания. Такими принципами, на сегодняшний день, являются принципы интенсивного воздействия на компоненты смеси, с целью придания им максимальных скоростей и ускорений по сложным траекториям движения. И чем сложнее такие траектории, тем выше качество готовой смеси. Воздействие осуществляется смешивательными органами – лопастями, вращающимися на валу вокруг горизонтальной, наклонной или вертикальной оси. При этом цилиндрические траектории, образованные лопастями, заставляют смесь двигаться так же по цилиндрическим или близким к ним траекториям [4]. Наклон лопаток дает возможность двигаться либо горизонтально, при горизонтальном расположении ротора, либо вертикально, при вертикальном или близком к вертикальному расположении ротора. В любом случае такие траектории будут замкнутыми и многократно повторяющимися.

Такие принципы получения строительных смесей имеют ограничения по качеству готового продукта, так как всегда будет

присутствовать неопределенность движения материала в смесителе и частицы материала, в конечном случае, будут двигаться по замкнутым траекториям. Это объясняется большим количеством факторов воздействия на частицы смеси, начиная от трения о поверхности лопасти, трения между собой и заканчивая, электростатическим воздействием частиц друг на друга.

Развитие технологии 3D печати позволило внедрить эту технологию и в строительство. Сегодня с помощью 3D принтеров создают части самолетов и машин, одежду и оптическую технику и конечно 3D принтеры уже сегодня позволяют строить дома и другие сооружения.

Технология 3D печати только с недавнего времени стала развиваться, как уже имеет широкую популярность. Возможность “адресного” подхода к созданию деталей и всевозможных элементов конструкции позволяет использовать эту технологию при получении строительных смесей из порошковых материалов. Рассматривая получение сухих строительных смесей с помощью 3D печати можно сказать о совершенно новом и перспективном технологическом процессе получения таких материалов. Такой процесс позволяет с высокой точностью гарантировать правильное распределение компонентов смеси во всем объеме, учитывая все факторы.

Идеальная смесь – это смесь, в которой все компоненты этой смеси распределены равномерно по всему объему между собой. Возможность индивидуального расположения каждой частички материала во всем объеме – это задача очень сложная, ведь компоненты строительных смесей имеют размеры в несколько микрон и таких частиц может быть предельно много. Использование технологии 3D печати позволит размещать каждую частичку смеси именно в той ее части, где она и должна быть в идеальном своем состоянии. Так же такая технология позволит устанавливать конкретные свойства каждой частички в зависимости от исходных параметров.

Сложность же в применении такой технологии как раз и заключается в использовании частиц очень маленьких размеров. Транспортировка отдельной частички, ее укладка в нужное место и гарантированное нахождение именно там - это те задачи, которые необходимо решить, для того что бы данная технология стала приоритетной в производстве сухих строительных смесей.

Стоит также отметить, что в одной сухой строительной смеси могут находиться составные материалы, совершенно разные по структуре и механическим свойствам. Так, песок, в качестве

наполнителя для большинства строительных смесей имеет относительно большие размеры (от 0,1 до 5 мм), имеет хорошую текучесть в сухом состоянии и относительно гладкую поверхность. Вяжущие и добавки, наоборот, имеют небольшие размеры (от сотых до долей микронов), имеют большую слипаемость и их поверхность имеет сильно развитую структуру. Такое сочетание частиц компонентов смеси так же усложняет процесс создания качественных строительных смесей с помощью 3D печати.

Не смотря на все сложности использования 3D печати в производстве строительных смесей, технологический процесс создания таких смесей с использованием индивидуального подхода к расположению каждой частицы в общем объеме смеси является перспективным и дает возможность получения смесей с качеством, близким к идеальному.

Список литературы:

1. Несмеянов Н.П., Горшков П.С. Стабилизация качества сухих строительных смесей на основе пневмомеханического способа перемешивания / Несмеянов Н.П., Горшков П.С. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №4. С. 51.
2. Чемеричко Г.И. Качественная оценка процесса смешивания в роторном спирально-лопастном смесителе / Г.И. Чемеричко, Н.П. Несмеянов, П.С. Горшков, Ю.С. Бражник // Межвузовский сборник статей. Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Белгород, БГТУ 2013. Вып. XII. С. 469.
3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. М.: «Машиностроение», 1973. 216 с.
4. Горшков П.С. Новые способы комплексного снижения энергетических затрат при получении сухих строительных цементных смесей / П.С. Горшков, Н.П. Несмеянов, // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С. 49.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ОТБойНО-ВИХРЕВОМ КЛАССИФИКАТОРЕ ТИПА КОВ-300

Дмитриенко В.Г., канд., техн., наук, доц.,
Макридин А.А., ст. преподаватель,
Шеметов Е.Г., магистрант,
Белов В.А., магистрант,
Михайлов С.Н., магистрант,
Печегузов В.А., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Основной проблемой эксплуатации воздушных классификаторов является эффективность их работы, которая подразумевает четкую классификацию разделяемого материала по границе разделения.

Теоретическими исследованиями определениями эффективности разделения в классификаторе отбойно-вихревого типа посвящена работа ученых [1].

Авторами [2] получены уравнения регрессии, описывающие процесс сепарации в классификаторе отбойно-вихревого типа, а именно для производительности:

$$Q = 34.67 - 0.026n - 11.02P_c + 14.2P_c^n + 0.125h + 0.000006n^2 - 7.3P_c^2 - 70P_c^{n^2} - 0.0003h^2 + 0.007P_c \cdot n + 0.0028P_c^n \cdot n - 0.0000 \ln \cdot h + 40P_c^n \cdot P_c \quad (1)$$

для удельной поверхности:

$$S = 15701.3 + 3622.6P_c + 4605.8P_c^n + 5.16h + 0.09n - 10240P_c^{n^2} - 0.02h^2 + 0.00074n^2 + 0.5P_c^n \cdot P_c + 0.00066n \cdot h - 0.63P_c \cdot n - 3866.7P_c - 0.3P_c^n \cdot n \quad (2)$$

Рассмотрим парные воздействия на выходные величины: производительность Q и удельную поверхность S , следующих варьируемых факторов: частоты вращения ротора n , высоты подачи поддува дополнительного воздуха h в зону сепарации, давления в сопле для поддува дополнительного воздуха P_c^n и давление в сопле рабочего энергоносителя в патрубке подачи исходного материала P_c .

По экспериментальным данным построены графики зависимости (рисунок 1,2) $Q, S = f(n, P_c, P_c^n, h)$, которые объясняется следующим образом:

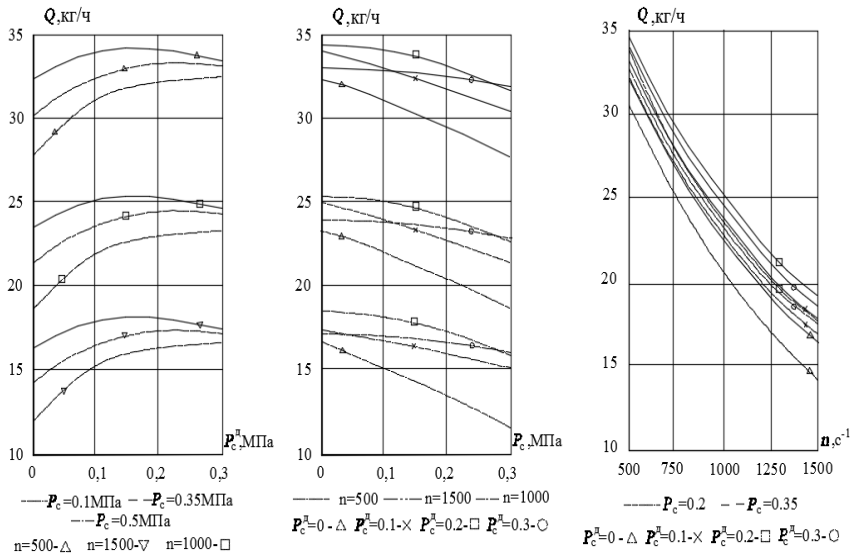


Рисунок 1 – График зависимости $Q = f(n, P_c, P_c^n, h)$

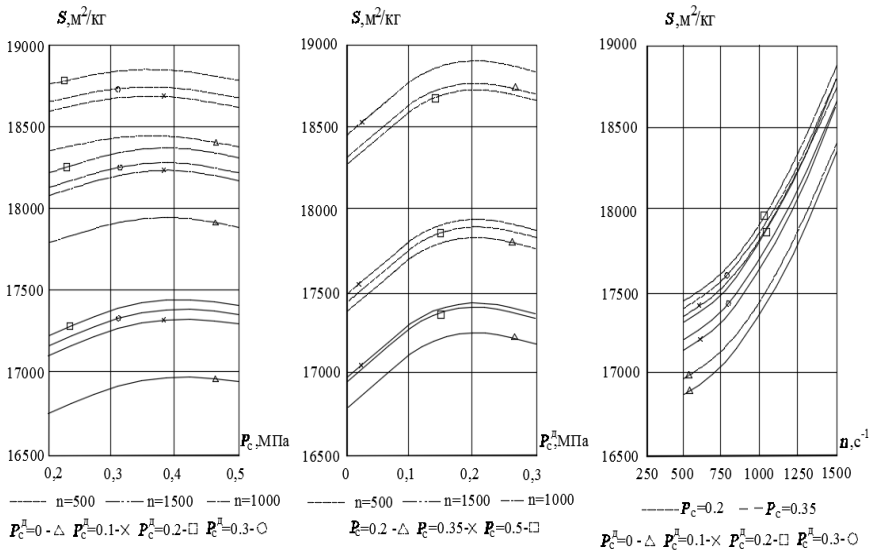


Рисунок 2 – График зависимости $S = f(n, P_c, P_c^n, h)$

- при увеличении давления в сопле дополнительного воздуха подаваемого в корпус классификатора удельная поверхность материала плавно увеличивается до значения параметра $P_c^A = 0,2\text{МПа}$, а затем плавно снижается. Это происходит за счет того, что сепарирующая струя, проходя сквозь слой материала, выделяет мелкую фракцию, которая, преодолев центробежную силу, удаляется в тонкий продукт;

- при увеличении значения параметра P_c^A до $0,3\text{МПа}$ скорость воздушного потока (настилаящая струя) приобретает критическое значение, при котором скорость частицы равна скорости настилаящей струи и находится во взвешенном состоянии; возрастает и скорость воздушного потока сепарирующей струи и она, проходя сквозь слой материала, выделяет наряду с мелкими и грубые частички, которые, преодолев центробежную силу попадают в тонкий продукт, что ведет к снижению эффективности сепарации и величины удельной поверхности;

- при увеличении частоты вращения ротора меняется граница разделения и на частицы продукта действуют возрастающие центробежные силы в результате чего эту границу проходят частицы с меньшим размером, что ведет к увеличению удельной поверхности и снижению производительности;

- при увеличении давления в сопле рабочего энергоносителя в патрубке подачи исходного материала происходит выравнивание воздушного потока и поле скоростей становится однородным, что благотворно влияет на качество разделения. Однако это происходит до критического значения $P_c = 0,5\text{МПа}$, после чего скорость в падающем трубопроводе настолько велика, что вызывает турбулентность частиц, неоднородность поля скоростей нарушения динамического равновесия и ведет к снижению качества разделения и производительности.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при увеличении частоты вращения ротора n от 500 до 1500мин^{-1} удельная поверхность возрастает от $17900\text{см}^2/\text{г}$ до $18750\text{см}^2/\text{г}$ при $h = 185\text{мм}$, $P_c = 0,35\text{МПа}$, $P_c^A = 0,2\text{МПа}$. Однако при этом происходит снижение производительности с $34,5\text{кг}$ до $18,7\text{кг}$.

Определив физическое содержание характера влияния частоты вращения ротора классификатора n , высоты подачи дополнительного воздуха h в зону сепарации, давления в сопле поддува дополнительного воздуха P_c^A в зону сепарации, давления в сопле рабочего энергоносителя P_c . на выходные величины: производительность классификатора Q и удельная поверхность S получаемых порошков, необходимо определить параметры, наиболее полно характеризующие работу классификатора.

Авторы [3-5] отмечают, что достоверную работу любого классификатора можно оценить с помощью кривой парциальных выносов, которая включает в себя определение следующих параметров: – граничного размера (границы разделения); – КПД сепаратора, учитывающего степень увлечения тонких частиц в готовый продукт и – степени проскока, характеризующих наличие грубых частиц в готовом продукте и наоборот, что является дальнейшей исследовательской работой.

Список литературы:

1. Дмитриенко В.Г., Жидков В.В., Куприн А.В. К вопросу определения эффективности классификации частиц в сепараторе // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвуз. сборник статей. Белгород, 2004. С.71-76.
2. Богданов В.С., Дмитриенко В.Г., Дмитриенко А.Г., Несмеянов Н.П. Получение уравнения регрессии, описывающего процесс сепарации в центробежном отбойно-вихревом // Сооружения, конструкции, технологии и строительные материалы XXI века: Сб. докл. II Междунар. научно-практич. конф.-шк.-сем. молод. учен., аспирант. и докторантов – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1999. С. 147-150.
3. Ушаков С.Г., Зверев Н.И. Инерционная сепарация пыли. –М.: Энергия, 1974, 165 с.
4. Зверев Н.И., Ушаков С.Г. Методика оценки эффективности сепарации пыли. Электрические станции, 1969. № 11. С. 6-9.
5. Ушаков С.Г., Муромкин Ю.Н. Алгоритм построения кривых разделения классификации. Изв. вузов Сер. Химия и химическая технология, том XX, вып. 4, 1977. С. 604-605.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТБойНО- ВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА ТИПА КОВ-300

Дмитриенко В.Г., канд., техн., наук, доц.,
Макридин А.А., ст. преподаватель,
Шеметов Е.Г., магистрант,
Михайлов С.Н., магистрант,
Печегузов В.А., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Авторами [1] была сделана попытка аэродинамического исследования классификатора КОВ-300, а именно исследования его вентилирующей способности. Полученные результаты не дают полной картины работы классификатора как вентилятора.

С целью определения рациональной работы классификатора с точки зрения аэродинамики проведены исследования изменения аэродинамического сопротивления классификатора при варьируемых параметрах, описанных в [1], а именно при угле конусности $\alpha = 20; 30; 55^\circ$ и частоте оборотов ротора $n = 500 - 1500 \text{ мин}^{-1}$ с шагом 250 мин^{-1} и частоты вращения крыльчатки вентилятора $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$.

Экспериментальные исследования проводили на экспериментальном стенде разработанном на кафедре МО по методике, описанной авторами [2].

Обработку экспериментальных значений проводили следующим образом. Представляя коэффициент местного сопротивления $\zeta_{\text{сеп}}$ как функцию от числа оборотов ротора (n) и угла конусности (α) в виде полинома:

$$\zeta_{\text{сеп}} = An^2 + Bn + C \quad (1)$$

где:

$$A = a\alpha^2 + b\alpha + c \quad (2)$$

$$B = a_1\alpha^2 + b_1\alpha + c_1 \quad (3)$$

$$C = a_2\alpha^2 + b_2\alpha + c_2 \quad (4)$$

имеем:

$$\zeta_{\text{сеп}} = (a\alpha^2 + b\alpha + c)n^2 + (a_1\alpha^2 + b_1\alpha + c_1)n + a_2\alpha^2 + b_2\alpha + c_2 \quad (5)$$

где: $a, b, c, a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$, – неизвестные параметры, которые определим на основании математической обработки экспериментальных данных.

Перед тем как определить a, b, c определим параметры A, B, C .

При этом используем метод наименьших квадратов, который позволяло записать следующую систему трех линейных уравнений с тремя неизвестными A, B, C :

$$\begin{cases} A\sum n^4 + B\sum n^3 + C\sum n^2 = \sum n^2 \cdot \zeta \\ A\sum n^3 + B\sum n^2 + C\sum n = \sum n \cdot \zeta \\ A\sum n^2 + B\sum n + C \cdot N = \sum \zeta \end{cases} \quad (6)$$

где N – число наблюдений опытов ($N=6$);

$\sum n$ – сумма всех значений переменной n ; $\sum \zeta$ – сумма всех значений переменной ζ , приведенной в таблице 1; $\sum n\zeta$ – сумма произведений значений величины n , на соответствующие значения величины ζ ; $\sum n^2$ – сумма квадратов всех значений переменной n ; $\sum n^3$ – сумма кубов всех значений переменной n ; $\sum n^4$ – сумма 4^x степеней значений n ; $\sum n^2 \cdot \zeta$ – сумма произведений квадратов значений величины n , на соответствующие значения величины ζ ;

Таблица 1

	n (об/ мин)	ζ сеп	$n \zeta$	n^2	$n^2 \zeta$	N^3	n^4
55 ⁰	0	,24 ⁷	0	0	0	0	0
	500	,51 ⁵	275	250	1377,50	125·10 ⁶	62,500·10 ⁹
	750	,42 ⁷	556	562	4173,75	421·10 ⁶	316,406
	100	,8 ⁷	780	100	780000	1000·10 ⁶	1000·10 ⁹
	125	,39 ⁹	117	156	1467187	1953,12	2441,40
	150	,99 ¹	179	225	2697750	5·10 ⁶	62·10 ⁹
500	9,35 ⁴	458	562	5500062	6875·10 ⁶	8882,81	
0	,34 ⁷	0	0	0	0	0	
30 ⁰	500	,28 ⁵	264	250	1320·10 ³	125·10 ⁶	62,5·10 ⁹
	750	,92 ⁴	369	562	2767,5·10 ³	421·10 ⁶	316,406
	100	,01 ⁷	701	100	7010·10 ³	1000·10 ⁶	1000·10 ⁹
	125	,54 ⁸	106	156	13343,7	1953,12	2441,40
	0	,54 ⁷	75	250	5·10 ³	5·10 ⁶	62·10 ⁹

	150 0	1 0,88	163 20	225 0000	24480·10 ³	3375·10 ⁶	5062,5·10 ⁹
	500 0	4 3,97	403 35	562 500	48921,2 5·10 ³	6875·10 ⁶	8882,81 24·10 ⁹
20°	0	8 ,08	0	0	0	0	0
	500	6 ,15	307 5	250 000	1537,5·10 ³	125·10 ⁶	62,5·10 ⁹
	750	6 ,25	468 7,5	562 500	3515,62 5·10 ³	421·10 ⁶	316,406 25·10 ⁹
	100 0	1 0,07	100 70	100 0000	10070·10 ³	1000·10 ⁶	1000·10 ⁹
	125 0	9 ,79	122 37,5	156 2500	15296,8 75·10 ³	1953,12 5·10 ⁶	2441,40 62·10 ⁹
	150 0	1 3,00	195 00	225 0000	29250·10 ³	3375·10 ⁶	50625,5·10 ⁹
500 0	5 3,34	495 70	562 500	59670·10 ³	6875·10 ⁶	8882,81 24·10 ⁹	

Найденные значения сумм подставим в систему уравнений (6).
Решение которой позволяют получить искомые величины (таблица 2).

Таблица 2

$\alpha,^\circ$	A	B	C
55	$5.0545 \cdot 10^{-6}$	$-4.347 \cdot 10^{-3}$	7.1086
30	$6.58 \cdot 10^{-6}$	$7.338 \cdot 10^{-3}$	7.274
20	$6.045 \cdot 10^{-6}$	$5.556 \cdot 10^{-3}$	7.853

Для определения коэффициентов $a, b, c, a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$, необходимо решить уравнения (2, 3, 4). Подставляя значения A, B, C , для каждого угла конусности α получим следующие системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 &\text{для } A = a\alpha^2 + b\alpha + c && \text{для } B = a_1\alpha^2 + b_1\alpha + c_1 \\
 &\begin{cases} 5.0545 \cdot 10^{-6} = 55^2 a + 55b + c \\ 6.58 \cdot 10^{-6} = 30^2 a + 30b + c \\ 6.045 \cdot 10^{-6} = 20^2 a + 20b + c \end{cases} && \begin{cases} -4.347 \cdot 10^{-3} = 55^2 a_1 + 55b_1 + c_1 \\ 7.338 \cdot 10^{-3} = 30^2 a_1 + 30b_1 + c_1 \\ 5.556 \cdot 10^{-3} = 20^2 a_1 + 20b_1 + c_1 \end{cases} \\
 &\text{для } C = a_2\alpha^2 + b_2\alpha + c_2 && (7) \\
 &\begin{cases} 7.1086 = 55^2 a_2 + 55b_2 + c_2 \\ 7.274 = 30^2 a_2 + 30b_2 + c_2 \\ 7.853 = 20^2 a_2 + 20b_2 + c_2 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Решая систему уравнений методом исключения получили численные значения коэффициентов $a, b, c, a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$, которые заносим в таблицу 3.

Таблица 3

a	b	c
$-0.0034 \cdot 10^{-6}$	$0.225 \cdot 10^{-6}$	$2.93 \cdot 10^{-6}$
a_1	b_1	c_1
$9 \cdot 10^{-6}$	$-0.632 \cdot 10^{-3}$	$3.482 \cdot 10^{-3}$
a_2	b_2	c_2
$1.6 \cdot 10^{-3}$	-0.14	10

Подставляя в (5) значения из таблице 3, формула примет окончательный вид:

$$\xi_{\text{сеп}} = (-0.0034 \cdot 10^{-6} \alpha^2 + 0.225 \cdot 10^{-6} \alpha + 2.93 \cdot 10^{-6}) n^2 + (9 \cdot 10^{-6} \alpha^2 - 0.632 \cdot 10^{-3} \alpha + 3.482 \cdot 10^{-3}) n + 1.6 \cdot 10^{-3} \alpha^2 - 0.14 \alpha + 10 \quad (8)$$

Для определения экстремума по α продифференцируем уравнение:

$$\frac{d\xi}{d\alpha} = (-2\alpha_3 \cdot 0.0034 \cdot 10^{-6} + 0.225 \cdot 10^{-6}) \cdot n^2 + (-2\alpha_3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} - 0.632 \cdot 10^{-3}) \cdot n + 2\alpha_3 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} - 0.14 = 0$$

где α_3 – экстремальное значение угла конусности ротора.

Отсюда найдем расчетное соотношение для α_3 :

$$\alpha_3 = \frac{-0.14 + 0.632 \cdot 10^{-6} \cdot n - 0.225 \cdot 10^{-6} \cdot n^2}{2(-0.0034 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 - 9 \cdot 10^{-6} \cdot n + 1.6 \cdot 10^{-3})} \quad (9)$$

Для определения экстремума по n продифференцируем уравнение (1):

$$\frac{d\xi}{dn} = 2A n_3 + B = 0 \quad (10)$$

Откуда:

$$n_3 = -\frac{B}{2A} \quad (11)$$

Подставляя A и B из (2) и (3) в формулу (11), получим окончательное выражение:

$$n_3 = -\frac{a_1 \alpha^2 + b_1 \alpha + c_1}{2(a \alpha^2 + b \alpha + c)} \quad (12)$$

Подставляя в формулу (12) значения a, b, c, a_1, b_1, c_1 из таблице 3, получим следующее расчетное соотношение для n_3 :

$$n_3 = -\frac{9 \cdot 10^{-6} \alpha^2 - 0.632 \cdot 10^{-3} \alpha + 3.482 \cdot 10^{-3}}{2(-0.0034 \cdot 10^{-6} \alpha^2 + 0.225 \cdot 10^{-6} \alpha + 2.93 \cdot 10^{-6})}$$

Таким образом, получили формулы для определения оптимальных значений n и α . Так как диапазон изменения для частоты вращения ротора n брали от 500 мин^{-1} до 1500 мин^{-1} , то для расчета α_3 по формуле (9) возьмем крайние значения $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$.

Оптимальный угол конусности при этом составил 40° . Для выявления наименьшего аэродинамического сопротивления по формуле (8) составили программу расчета значений ζ и построили графики зависимости $\zeta = f(n, \alpha)$ (рисунок 1,2). Наименьшее значение $\zeta = 5$ достигается при $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 40^\circ$.

Сравнительный анализ графиков на рисунке 1 и 2 позволяет сделать следующие выводы:

- на графике (рисунок 1) отмечается экстремум (минимум) для аэродинамического сопротивления $\zeta_{\text{сеп}}$ в зависимости от частоты вращения ротора. С увеличением n от 500 мин^{-1} до 1500 мин^{-1} при $\alpha = 30^\circ$ $\zeta_{\text{сеп}}$ возрастает от 5,25 до 11. Экстремум $\zeta_{\text{сеп}}$ приходится на величину $n_3=300 \text{ мин}^{-1}$ при $\alpha = 30^\circ$, $n_3 = 460 \text{ мин}^{-1}$ при $\alpha = 20^\circ$, $n_3 = 400 \text{ мин}^{-1}$ при $\alpha = 55^\circ$.

- на графике (рисунок 2) отмечается экстремум (минимум) для аэродинамического сопротивления $\zeta_{\text{сеп}}$ в зависимости от угла конусности ротора. Минимальное значение этой величины достигается при угле конусности $\alpha = 40^\circ$.

По-видимому, при малых скоростях вращения проявляется в большей степени вентилирующая способность ротора классификатора, а не осевой противоточный вихрь. Поэтому, в начале при увеличении скорости вращения ротора до 500 мин^{-1} сопротивление классификатора снижается, а затем в результате активизации противоточного вихря сопротивление возрастает. Аналогичная картина наблюдается и при достижении конусности при $\alpha = 40^\circ$, а при возрастании или уменьшении конусности происходит рост сопротивления (рисунок 2).

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования, целью которых ставилось определение аэродинамических характеристик классификатора, показали, что с помощью данных эксперимента удалось определить истинные величины вентилирующей способности и коэффициентов аэродинамического сопротивления классификатора. Было установлено, что работа классификатора как вентилятора мала; работать самостоятельно, как всасывающий элемент он не может, он оказывает лишь влияние на снижение аэродинамического сопротивления в области $n = 300 \div 500 \text{ мин}^{-1}$ и $\alpha = 40^\circ$.

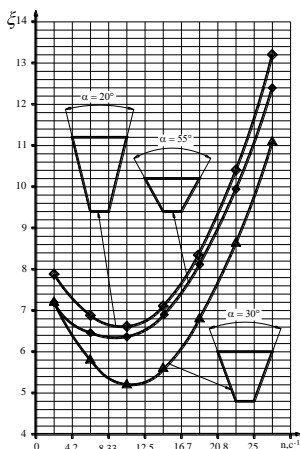


Рисунок 1 – График изменения коэффициентов аэродинамического сопротивления классификатора в зависимости от частоты вращения ротора.

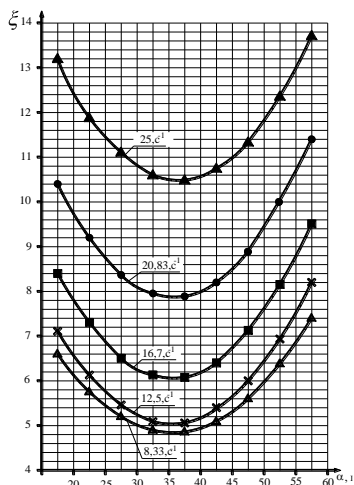


Рисунок 2 – График изменения коэффициентов аэродинамического

Список литературы:

1. Богданов В.С., Дмитриенко В.Г., Гусев Д.А. Исследование вентилирующей способности сепаратора для разделения сверхтонких порошков / Передовые технологии в промышленности и строительстве на пороге XXI века: Сб. докл. Междунар. конф. -шк.-сем. молод. учен. и асп. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998. С. 475-477.
2. Дмитриенко В.Г., Макридин А.А., Шеметов Е.Г., Белов В.А., Михайлов С.Н., Печегузов В.А. Экспериментальный стенд и методика определения аэродинамических характеристик центробежного классификатора типа КОВ / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сб. ст. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 47-52.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШБМ С РАЗЛИЧНЫМИ ВНУТРИБАРАБАННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ В ПО EDEM

Ельцов М.Ю., канд. техн. наук, проф.,

Хахалев П.А., ассистент,

Харин Н.П., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке базовой
части государственного задания № 1657 с использованием оборудования
ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова*

Использование шаровых мельниц в производстве цемента непосредственно связано с подбором различных внутрибарабанных устройств. Инженеры цементных предприятий стремятся уменьшить энергопотребление помольных установок, одновременно снизив износ рабочих органов и сохранив качество конечного продукта на высоком уровне.

В статье рассмотрен расчет четырех типов футеровочных плит лабораторной мельницы $\varnothing 0,5 \times 0,3$ м при помощи программного продукта EDEM.

EDEM позволяет быстро создавать модели гранулированных систем твердых тел с заданными параметрами. Функциональные возможности EDEM позволяют комбинировать механические, вещественные и другие физические свойства в процессе моделирования молекулярной системы твердых тел. Готовые модели удобно хранить в библиотеке, что упрощает и ускоряет процесс реализации проекта пользователем.

Исходные данные для создания симуляции в программном продукте EDEM представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные параметры необходимые для расчёта

Наименование	Значение
Материал	Сталь 45
Коэффициент Пуассона	0,29
Плотность	7800 кг/м ³
Модуль сдвига	7,93e ¹⁰
Коэффициент восстановления	0,556

Коэффициент трения скольжения	0,74
Коэффициент трения качения	0,002
Мелющая среда	Шары Ø30 мм

Геометрические модели футеровочных плит были созданы в CAD-системе NX компании Siemens PLM Software. Профили футеровок мельницы показаны на рис. 1.

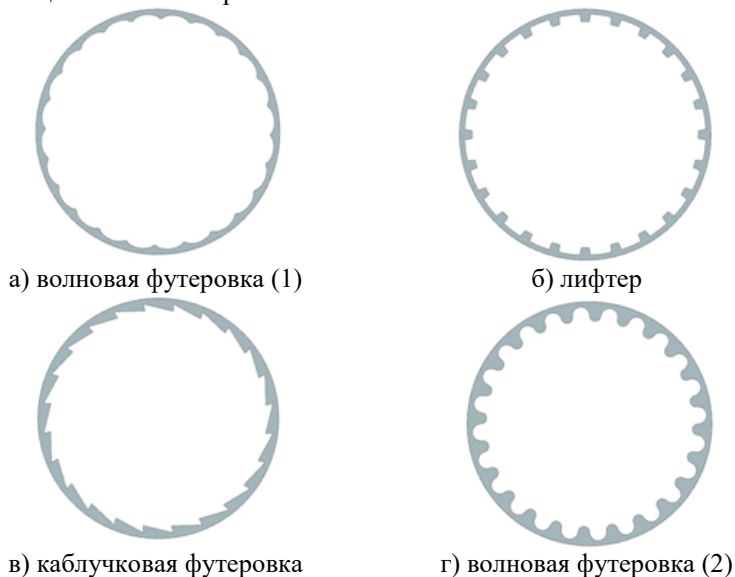


Рисунок 1 – Профили футеровок мельницы

Для каждого вида футеровки был проведён собственный расчёт, результатом которого стало нахождение средней кинетической энергии шара. Значения средней кинетической энергии шара были сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения средней кинетической энергии шара

Наименование профиля футеровки	Средняя кинетическая энергия шара, Дж
Волновая футеровка (тип 1)	0,042557
Лифтёр	0,06425
Каблучковая футеровка	0,02682
Волновая футеровка (тип 2)	0,050798

Наиболее эффективными являются футеровки под номерами 2 и 4, т.к. средняя кинетическая энергия шаров при их использовании выше, чем у футеровок под номерами 1 и 3. Именно для футеровок 2 и 4 будут проведены последующие расчёты.

В качестве варьируемого параметра была выбрана скорость вращения барабана. Расчётный параметр средней кинетической энергии шара представлен в таблице 3.

Таблица 3

Название профиля	Лифтёр		Волновая футеровка (2)	
	Скорость вращения	Средняя кинетическая энергия шара, Дж	Скорость вращения	Средняя кинетическая энергия шара, Дж
Значения	$0,68 \cdot n_{кр}$	0,050414	$0,68 \cdot n_{кр}$	0,041184
	$0,72 \cdot n_{кр}$	0,055817	$0,72 \cdot n_{кр}$	0,042073
	$0,76 \cdot n_{кр}$	0,06425	$0,76 \cdot n_{кр}$	0,050798
	$0,80 \cdot n_{кр}$	0,069035	$0,80 \cdot n_{кр}$	0,054484
	$0,84 \cdot n_{кр}$	0,076044	$0,84 \cdot n_{кр}$	0,059238

Для полного представления о процессе на рисунках представлены симуляции движения мелушей загрузки профилей при разных скоростях. Симуляция остановлена на 5 секунде воспроизведения.

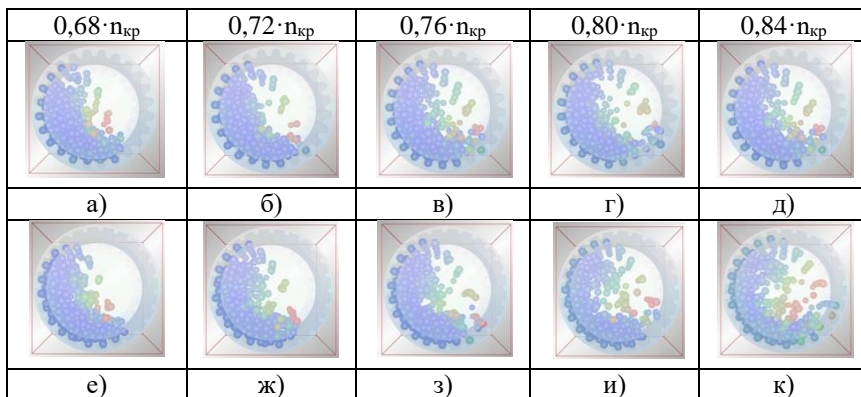


Рисунок 2 – Характер движения мелушей загрузки при различных скоростях вращения барабана мельницы

На основе расчётных данных, а также полученных изображений, мы можем сделать вывод, что наиболее эффективно работает профиль лифтера. Исходя из изображений симуляции также видно неэффективное распределение шаров в поперечном сечении барабана при скорости вращения барабана $0,84 \cdot n_{кр}$ (для обоих профилей, рис. 2, д и к), следовательно такой режим работы нерационален. Наиболее эффективным профилем является лифтер, скорость вращения барабана $0,76 \cdot n_{кр}$ (рабочая, средняя кинетическая энергия шара $0,06425$ Дж).

Список литературы:

1. EDEM Help Manual // Электронное пособие для работы с программным продуктом EDEM.
2. Богданов В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник/ В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. Белгород: Изд-во БГТУ. 2008.-551с.
3. Борщевский А.А. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. / А.А. Борщевский, А.С. Ильин. М.: Высшая школа, 1987. 368с.
4. Силенок С.Г. Механическое оборудование предприятий строительной индустрии. М.: Стройиздат, 1973. 375 с.

СТРУЙНЫЙ ДИСПЕРГАТОР ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЯИЧНОЙ СКОРЛУПЫ

Карпачев Д.В., канд. техн. наук, доц.,

Галицын А.Э., студент,

Кулякина О.В., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Кальций является важным питательным элементом для человека, который необходим для построения и укрепления костей и зубов. Также кальций регулирует мышечные сокращения, нервную систему и секрецию гормонов, играет важную роль в процессах свертывания крови и помогает регулировать кровяное давление. Наш организм не способен вырабатывать кальций самостоятельно, поэтому для поддержания достаточного уровня кальция, мы должны получать его из различных продовольственных источников. Когда мы потребляем кальций, он проникает в нашу кровь и транспортируется в другие области нашего тела, где он необходим. Лучшим способом удовлетворения потребности в этом минерале является питание сбалансированным рационом продуктов, богатых кальцием. Однако, источником кальция могут служить и пищевые добавки. С целью нормализации минерального состава мясopодуков по содержанию кальция можно использовать яичную скорлупу [1,4].

Яичная скорлупа является источником природного кальция, который чрезвычайно важен для полноценного развития и функционирования организма. Кальций можно найти в составе и других природных веществ, например, сода, гипс, мел, но только в составе яичной скорлупы он практически полностью усваивается организмом. Основная причина такой совместимости заключается в том, что по составу яичная скорлупа практически полностью совпадает с человеческими костями и зубами. Минеральный состав яичной скорлупы представлен в табл.

Переработка яичной скорлупы в муку может найти применение в качестве кормовой добавки в комбикорме, в медицине для получения зубных порошков, паст и в пищевой промышленности для изготовления жевательных резинок. Использование муки из яичной скорлупы при кормлении птицы способствует повышению яйценоскости, т.к. она является источником минеральных веществ.

Подготовка яичной скорлупы заключается в измельчении до размеров не более 80 мкм. Порошок яичной скорлупы рекомендуется

вносить в рецептуры взамен основных компонентов в количестве 4-6 % к массе сырья. Внесение меньшего количества скорлупы нецелесообразно, поскольку не обеспечивается необходимого обогащения кальцием, а внесение свыше 6 % приводит к ухудшению функционально-технологических и органолептических свойств продукта.

Таблица – Минеральный состав яичной скорлупы

Наименование	Массовая доля, мг/100 г
Калий	83-93,1
Натрий	81,7-130,8
Кальций	33400-37300
Магний	406-412,9
Сера	674-1260
Фосфор	124-166
Железо	2,8-41,3
Йод	0,034-0,050
Кобальт	0,07-0,08
Марганец	0,04-0,11
Медь	0,092-0,15
Молибден	0,028-0,036
Фтор	0,123-0,157
Хром	0,13-0,18
Цинк	0,40-0,67

Яичную скорлупу необходимо мыть, сушить, дезинфицировать, после чего переработать в муку. На 1 см² скорлупы сильно загрязненного яйца, содержится свыше 60...110 тысяч микробов, в том числе кишечные палочки. Моют скорлупу теплой водой, далее дезинфицируют двухпроцентным раствором хлорной извести в течение 5 мин. Затем скорлупу промывают 2 % раствором соды и споласкивают в течение 5 мин в проточной воде. В результате мойки и дезинфекции получают скорлупную массу, готовую к дальнейшей переработке, т.е. к сушке, измельчению. Схема получения муки яичной скорлупы представлена на рис. 1.

Струйный диспергатор предназначен для тонкого измельчения скорлупы, является основным оборудованием предлагаемой схемы [2,3]. Измельчение в нем происходит путем соударения частиц, движущихся навстречу друг другу при помощи воздушных струй,

истекающих из сопел с высокими скоростями. Диспергатор работает на сжатом воздухе с давлением до 0,6 МПа.

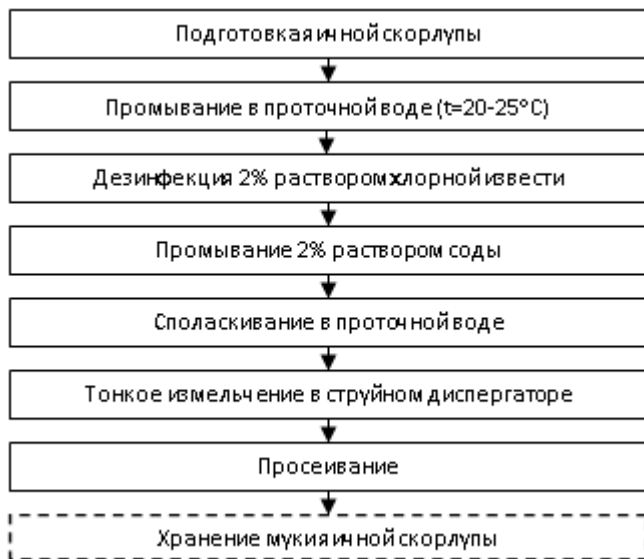


Рисунок 1. Схема получения муки яичной скорлупы

Процесс измельчения в диспергаторе осуществляется непрерывно при кратной циркуляции основного материала с добавлением исходного продукта из бункера. Струйный диспергатор включает в себя: питатель, блок помола, центробежный воздушно-проходной сепаратор, циклон, вентилятор, фильтрующее и разгрузочное устройство. Принципиальная схема струйного диспергатора представлена на рисунке 2.

Представленная схема работает в замкнутом цикле измельчения. Принцип действия струйного диспергатора следующий. Исходный материал из приемного бункера 1 посредством питателя 2 подается в точки 3 и по ним поступает в эжекторы 4. Подача энергоносителя в помольный блок производится по коллектору 12 через два противоположно направленных сопла 6. В эжекторах истекающие из сопла 6 струи энергоносителя увлекают материал и в разгонных трубках придают ему заданные скорости. Направленные навстречу друг другу газоматериальные потоки соударяются между собой в помольной камере 5, где и происходит собственно измельчение материалов. Материал, измельченный в помольной камере, по стояку 7 поступает в

сепаратор 8 на цикл классификации. Привод сепаратора выполнен с возможностью изменения частоты вращения ротора, за счет чего обеспечивается получение порошков с заданными граничными условиями гранулометрического состава.

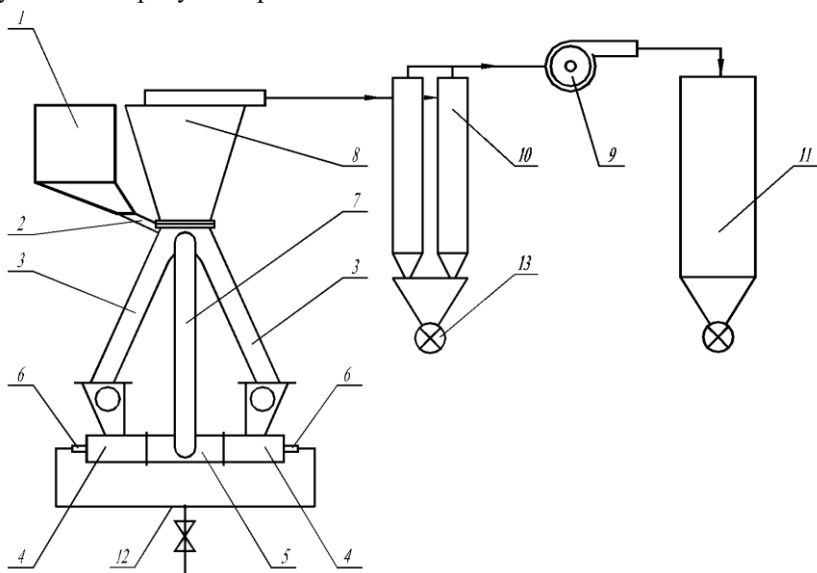


Рисунок 2. Принципиальная схема струйного диспергатора:

1 – бункер; 2 – питатель; 3 – течка; 4 – эжекторный узел; 5 – камера помола; 6 – сопло; 7 – патрубок пылеуноса; 8 – сепаратор; 9 – вентилятор; 10 – циклон; 11 – пылеуловитель; 12 – коллектор; 13 – устройство разгрузочное.

Отсеянная сепаратором крупка возвращается по течкам на домол в камеру помола, а поток отработанного газа совместно с частицами готового продукта, достигшими заданного размера, вентилятором 9 прокачивается через циклон 10. В циклоне происходит осаждение основной части готового продукта. Материал, поступивший в циклон, осажается и накапливается в бункерном отсеке. Запыленный сверхтонкими частицами пыли воздушный поток по воздухопроводу поступает на очистку в пылеуловитель 11, где происходит процесс пылеудаления, а очищенный воздух выбрасывается в атмосферу. Готовый порошок и сверхтонкие частицы по завершению работы извлекаются из циклона 10 и рукавного фильтра 11 соответственно с помощью ячеек питателя 13.

Регулирование дисперсности готового продукта осуществляется настройкой сепаратора.

Список литературы:

1. Газина Т.П., Дьяков Л.П., Печерский В.И. Пища XXI века. М., 2001.
2. Карпачев Д.В., Борин П.С. Пневмоструйная противочечная мельница для избирательного измельчения и обогащения / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование: межвуз. сб. науч. тр. (вып. VII), Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. С.44
3. Пат. 50129 Российская федерация, МПК7 В 02 С 19/06. Противочечная струйная мельница / Богданов В.С., Уваров В.А., Карпачев Д.В., Овчинников И.А., Поздняков С.С.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2003134654; заявл. 28.11.03; опубл. 27.12.2005, Бюл №36. 2 с.
4. www.fat-down.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО БЕЗОПАЛУБОЧНОМУ СПОСОБУ ФОРМОВАНИЯ

**Кирилов И.В., аспирант,
Александрова Е.Б., канд. техн. наук, доц.,
Богданов Д.В., канд. техн. наук, доц.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Непрерывное безопалубочное формование бетонных и железобетонных изделий постепенно вытесняет агрегатно-поточную, конвейерную и другие устаревшие технологии [1].

Это связано с тем, что такое производство позволяет уменьшить себестоимость изделий в среднем на 25% и добиться их высокого качества. Уменьшение себестоимости достигается отсутствием применения пара, меньшей трудоёмкостью (линию обслуживают 6-8 человек) и сниженной металлоёмкостью изделий.

Другими конкурентными преимуществами являются высокая производительность оборудования и возможность, при необходимости, расширить производство [2].

Общие требования к оборудованию линий безопалубочного формования характеризуются следующим:

1) Производство должно размещаться в хорошо отапливаемых производственных помещениях.

2) Оптимальный размер помещения 18×132 метра. Минимальная длина дорожек не ниже 72 метров.

3) Бетоносмесительное оборудование должно быть рассчитано на работу с жёсткими смесями с В/Ц равным не более 0,36 и обеспечивать её качественное приготовление.

4) Оптимальным условием является возможность подачи бетона на технологическую линию безопалубочного формования от своего смесительного узла, расположенного в непосредственной близости.

5) Тип бетоносмесителя с повышенной интенсивностью перемешивания – роторно-планетарный (РП-1В) или двухвальный с горизонтально расположенными валами (БП-2Г), объём готовой смеси на выходе которых составляет до 3÷5 м³, а производительность - до 60÷100 м³/час [3, 4].

Наиболее распространена следующая конфигурация технологической линии производства бетонных и ж/б изделий:

- пять дорожек пустотного настила шириной 1,2 метра и длиной 120 метров;
- активная и пассивная станции;
- машина для чистки и смазки формовочных дорожек;
- станция натяжения канатов (проволоки), состоящая из цанговых зажимов, а также гидравлического домкрата;
- формующая машина;
- оборудование ТВО (тепло-влажностной обработки)
- распиловочная машина;
- грузоподъёмные механизмы (грузоподъёмностью не менее 10 тонн) [3, 5].

Главным отличием в оборудовании для линии безопалубочного формирования является формующая машина. Существует три типа таких машин: экструдер, машина непрерывного виброформования и слипформер [6]. Выбор зависит от местных традиций, особенностей сырья и организации производства в каждой стране и в каждом регионе.

Каждая машина, из перечисленных выше, имеет свои достоинства и недостатки, поэтому, при её выборе следует подбирать тип в соответствии с номенклатурой изделий, которые необходимо выпускать на данном производстве.

К примеру, если основной комплект изделий для деталей дома, выпускаемый заводом, предназначен для строительства панельных домов, и на линии безопалубочного формирования требуется изготавливать только плиты перекрытий одних размеров, то в этом случае вполне подойдёт экструдер [7].

Благодаря низкому водоцементному отношению экструдер позволяет достигать высокой степени уплотнения бетонной смеси, исключая провалы в полотне и проскальзывание арматуры, при этом длительность периода тепловой обработки сокращается.

Ещё немало важным достоинством является то, что движение экструдера, и собственно формирования, зависит от количества бетонной смеси в бункере. При недостаточном её количестве машина останавливается и находится в режиме ожидания. После подачи бетонной смеси, процесс формирования продолжается, т.е. отсутствует разрыв в полотне бетонной дорожки [8].

Применение линии безопалубочного формирования пустотных плит с комплектацией виброформовочной машиной целесообразно в условиях, когда годовой объём выпуска пустотных плит не превышает 100000 м², либо сложилась комфортная конкурентная среда, т.к. одна из особенностей виброформовочной машины – это увеличенный расход

цемента в используемой бетонной смеси по сравнению с экструдером [3].

В работе [9] при выборе формующей машины рекомендуют руководствоваться рекомендациями, взятыми из практики эксплуатации (таблица 1).

Таблица 1 – Расход цемента в зависимости от типа формующих машин

Способ формования	Марка бетона кгс/см²	Пустотность (ширина плиты 1,2 м)	Расход цемента М500 Д0 кг/м³
Экструдер	550	40%	380 - 460
Экструдер	600	40%	460 - 480
Слипформер	400	39%	400 - 480
Слипформер	550	39%	430 - 500
Виброформование	400	40%	400 - 480

Из этой таблицы следует, что перерасход цемента в виброформующей машине составит около 20 кг/м³ [11].

За год, на выпуск 100000 м² пустотных плит шириной 1200 мм, высотой 220 мм требуется порядка 11000 м³ бетонной смеси. При средних 70 «лишних» кг/м³ бетона, годовой перерасход цемента составит около 750 тонн.

Однако, если производство ориентировано на выпуск широкой номенклатуры изделий для сборно-монолитного каркасного домостроения, то понадобится универсальная машина (виброформующая машина) с различным набором пресс-форм, на которой можно выпускать до 15÷20 различных видов изделий, входящих в комплект деталей каркасного здания [3, 6].

Использование слипформера в этом случае, позволяет достичь высокого уплотнения за счёт многослойного формования и уменьшить расход цемента на 5-6%. Такая экономия достигается лишь в том случае, когда применяются мытые и фракционированные инертные материалы и качественный цемент. Зарубежное производство в отличие от большинства российских гарантирует высокое и стабильное качество мытых и фракционированных инертных материалов (5÷6 видов песка и 6÷7 видов высокопрочного кубовидного щебня). Но в отечественной

практике фракционированный заполнитель используется очень редко [7, 10].

Кроме того переход в слипформере с одного вида изделия на другой (например: на колонны, балки, ригеля, сваи и др.) делает необходимым смену формующего модуля машины (а это около 70% стоимости самого слипформера) [6, 10].

Правильный подбор в качестве армирующих элементов проволоки или канатов является немаловажным критерием при выборе формующей машины. От него зависит риск появления брака при производстве железобетонных изделий [8].

Наиболее доступным армирующим элементом в нашей стране является проволока ВР-2.

При армировании проволокой поверхность соприкосновения с заполнителем в несколько раз больше, а вероятность проскальзывания в несколько раз меньше.

В силу того, что экструдер может формировать изделия армированные исключительно только канатами (пряжами), возрастает риск проскальзывания, а следовательно повышаются требования к классу применяемого бетона.

Слипформер использует в качестве армирующих элементов комбинированный метод с применением прядей и проволоки. Если к этому добавить дороговизну качественного цемента и заполнителей, то увеличится себестоимость готовой продукции и она станет неконкурентоспособной.

Машина непрерывного виброформования имеет неоспоримое преимущество по сравнению с другими машинами безопалубочного производства, т.к. она может формировать изделия армированные как канатами так и проволокой [10].

Не мало важную роль при выборе формующей машины играют расходы, связанные с поддержанием оборудования в технически исправном состоянии. Огромные затраты на расходные материалы, простой из-за длительных переналадок и смены быстроизнашивающихся частей машины – это серьёзные и неразрешимые проблемы с которыми сталкиваются производители бетонных и железобетонных изделий [9].

Таким образом, краткий обзор производства по безопалубочному способу формования показывает, что при выборе оборудования нужно руководствоваться не только типом машины (какой принцип заложен в конструкцию), но и учитывать специфику сырья, объёмы производства и номенклатуру изделий.

Список литературы:

1. Ли В.А. Зарубежное оборудование для непрерывного формирования железобетонных конструкций. Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1978. 55 с.
2. Пособие по технологии формирования железобетонных изделий (к СНиП 3.09.01-85) Утверждено приказом НИИЖБ Госстроя СССР от 7 июля 1986 г. № 38. М. Стройиздат, 1988. 90 с.
3. Оборудование для производства пустотных плит [Электронный ресурс]. Систем. требования: Microsoft Office Word 2007. URL: <http://s-mkd.com/equipment/slabs/> (дата обращения: 15.09.2016).
4. Мут А.Р. Современные технологии производства ЖБИ // Бетон и железобетон '09. №1. С. 20-23.
5. Сагадеев Р.А. Методические рекомендации для изучения темы: «Реконструкция заводов сборного железобетона». М., ГАСИС, 2008, 21 с.
6. Кирилов И.В., Ханин С.И., Дузенко К.К. Существующие способы непрерывного безопалубочного формирования [Электронный ресурс] / Международная научно-техническая конференция молодых учёных. – Белгород, 2016.
7. Официальный сайт ООО "ВИБРОТЕХНОЛОГИЯ". Сравнительный анализ технологий выпуска железобетонных изделий [Электронный ресурс]. Систем. требования: Microsoft Office Word 2007. URL: <http://vibteh.ru/vybor-oborudovaniya/sravnitelnyj-analiz-tekhnologij-vypuska-zhbi> (дата обращения: 19.09.2016).
8. Малышев А.А. Современные линии безопалубочного формирования // Бетон и железобетон '09. №1. С. 20-23.
9. Официальный сайт НПЦ «Стройтех». Как выбрать технологию производства ЖБИ [Электронный ресурс]. Систем. требования: Microsoft Office Word 2007. URL: http://www.stroiteh.ru/line_molding/bezop_line/item.php?ELEMENT_ID=1343 (дата обращения: 20.09.2016).
10. Копша С.П., Заикин В.А. Технология безопалубочного формирования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. №11. С. 29-33.
11. Уткин В.Л. Новые технологии строительной индустрии. М.: Изд. ЗАО «Русский Издательский Дом», 2004. 136 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ БЕТОНО- И РАСТВОРОСМЕСИТЕЛЕЙ

Клементьева А.А., студент,
Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.,
Матусов М.Г., ассистент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Основной целью при выборе наиболее эффективного смесительного оборудования для получения бетонов и строительных растворов является получение однородной смеси при наименьших удельных затратах электроэнергии.

В процессе смешивания можно выделить следующие основные составляющие: перенос объемов смешиваемых компонентов; деформирование (т.е. вытягивание этих объемов в зоне смешивания); микродеформирование смешиваемых масс внутри отдельных объемов и между ними. Наиболее эффективно смешивание будет осуществляться под воздействием внешних сил, интенсифицирующих процессы массообмена. Поэтому, при приготовлении различных строительных многокомпонентных смесей и растворов, обладающих высокой однородностью, наибольшее применение находит процесс механического смешивания.

В перемешиваемой смеси возможно бесконечное разнообразие взаимного расположения частиц компонентов, вследствие чего соотношение компонентов в произвольных точках является случайной величиной. Поэтому большинство современных оценок качества смеси основано на методах статистического анализа.

Для оценки однородности смеси предложены десятки критериев, отличающихся входящими в них параметрами. Однако в большинстве из них присутствует в той или иной интерпретации статистический результат отбора проб смеси: размах значений концентрации компонентов, дисперсии значений концентрации ключевого компонента, вероятность отклонения значений концентрации от среднего значения и др. Наиболее часто в качестве критерия оценки качества смеси применяется коэффициент неоднородности [1]:

$$V_c = \frac{100}{\bar{m}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{m})^2}{n-1}} \quad (1)$$

где x_i - значение случайной величины x в i -том опыте;

\bar{m} – среднеарифметическое содержание ключевого компонента во всех пробах;

n – общее число проб.

Существенным критерием рациональности конструкции смесителей является эффективность смешивания, определяемая количеством энергии, затрачиваемой на смешивание [2].

Сравнивая бетоносмесительное оборудование отечественных и зарубежных производителей, можно констатировать следующее. Прежде всего, известно, что все бетоносмесители по способу смешивания делятся на два класса: со свободным смешиванием материалов (гравитационные) и с принудительным (роторные). Известно, что гравитационные смесители наиболее целесообразно использовать для приготовления более пластичных смесей, т.е. смесей, имеющих меньшее удельное сопротивление при их смешивании; для приготовления же жестких бетонных смесей наиболее эффективны смесители с принудительным смешиванием материалов.

В целом же относительно этих двух классов смесителей следует отметить, что смесители с принудительным смешиванием материалов обеспечивают приготовление смесей более высокого качества по степени однородности [3]. И это связано не только с тем, что в этих смесителях смешиваемые компоненты подвергаются механическому воздействию со стороны смешивающего устройства, а главное, с тем, какое количество этих воздействий в единицу времени обеспечивает смешивающее устройство.

Учитывая вышесказанное, была предложена классификация [4] бетоносмесителей в зависимости от количества, рода и характера изменения во времени составляющих движений компонентов смеси под воздействием смешивающего устройства.

Для определения количества составляющих движений компонентов составляется принципиальная схема смешивающего устройства и схема возможных движений компонентов при их смешивании. Схема устройства ориентируется в пространстве по координатным осям x , y , z , на которые проецируются возможные движения смешиваемых компонентов. При ориентации координатных осей принимается, что ось z совпадает с осью вращательного движения смешивающего устройства либо параллельна ей. При ориентации осей x и y следует по возможности стремиться совместить их направления с одним из направлений движения смешиваемых компонентов, исключая, таким образом,

появление новой составляющей движения, фиктивно повышающей класс способа смешивания.

Род составляющих движений компонентов смеси определяется тем, что эти движения могут быть либо только поступательными, либо только вращательными, либо смешанными.

По характеру изменения составляющих движения во времени по скорости и направлению они принимаются либо постоянными, либо периодически меняющимися, либо произвольно меняющимися.

Анализ существующих конструкций бетоносмесителей, согласно предложенной классификации, позволяет определить потенциальные возможности конструкции смешивающего устройства и в основном определить область применения.

Так, наименьший эффект при смешивании следует ожидать в бетоносмесителях со свободным смешиванием материалов, в которых смешиваемые компоненты имеют лишь две составляющие движения, а смешивание осуществляется только постоянными движениями – вращательными и поступательными.

Наибольший эффект можно ожидать при приготовлении различных смесей в вибросмесителях, где смешиваемые компоненты могут иметь до пяти составляющих движений, а смешивание осуществляется одновременно поступательными и вращательными, произвольно меняющимися во времени, движениями компонентов смеси. То есть, в данных смесителях смешиваемые компоненты получают наибольшее количество воздействий в единицу времени со стороны смешивающего механизма.

Однако в силу низкой надежности вибросмесителей они до настоящего времени не находят должного применения и не выпускаются в промышленности.

Учитывая последнее обстоятельство, следует отдать должное группе смесителей с принудительным смешиванием материалов, имеющих в качестве смешивающего устройства либо вертикально вращающийся лопастной ротор, или планетарный смешивающий механизм, или механизм в виде двух горизонтально установленных лопастных валов, вращающихся навстречу друг другу [4].

В смесителях этой группы смешиваемые компоненты имеют не менее четырех составляющих движений, а смешивание в них осуществляется, как правило, одновременно поступательными и вращательными движениями, носящими периодический характер изменения во времени по направлению.

Опыт отечественных и зарубежных производителей и потребителей доказывает на практике преимущественное применение указанной группы смесителей, причем не только на стационарных, но и на передвижных бетоносмесительных установках.

Приведенные данные анализа бетоносмесителей были подтверждены результатами экспериментальных исследований по определению степени сепарации смесей, приготовленных в различных конструкциях бетоносмесителей.

Список литературы:

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст]: Монография / Ю.И. Макаров. М.:Машиностроение, 1973. 216 с.
2. Несмеянов Н.П., Дмитриенко В.Г., Матусов М.Г. Планирование экспериментальных исследований бетоносмесителя принудительного действия. Сборник межвузовских статей: Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2014. С. 180-184.
3. Несмеянов Н.П., Дмитриенко В.Г., Матусов М.Г. Разработка смешивающего механизма бетоносмесителя принудительного действия. Сборник статей «Научное развитие технологий инновации. Юбилейная международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, XXI научные чтения». Белгород 2014. С. 88-90.
4. Создание и эксплуатация строительных машин при вариационном выборе технических решений/М.В. Бунин, Ничке В.В, О.Г. Ктриченко, А. А. Богомолов. Киев: УМК ВО, 1992. 196 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

**Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,
Треков М.В., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Известно, что для добычи рудных и нерудных полезных ископаемых в шахтах применяют проходческие комбайны типа П110, П110-01 (П220), П110-04, П110-01М, МПП, основными производителями которых является, ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», ОАО «Копейский машиностроительный завод».

К достоинствам данных машин относятся простота конструкции, надежность работы, высокая производительность, способность устойчиво работать в тесных забоях и недоступных местах, относительно простая по структуре схема дистанционного управления, возможность обрабатывать крепкие скальные породы или монолитную горную массу, высокое пылеулавливание, возможность работа с шахтным газом, автоматическая система смазки и, как следствие, минимальное техническое обслуживание.

Проходческий комбайн является универсальным высокопроизводительным стреловым агрегатом, с возможностью высокой приспособляемостью к различным горно-геологическим условиям, широким диапазоном сечений проводимых выработок по площади и форме, свободным доступом к призабойному пространству, возможностью крепления выработки у забоя, высокой маневренностью, относительно простой конструкцией, с пониженной строительной высотой и массой [2].

Он состоит (рис 1) из платформы гусеничной ходовой части 5, с установленными на ней механизмами, а именно, стреловидный исполнительный орган 3, аксиально резцовыми коронками 1, погрузочный ствол 2, перегружатель 4. Рабочие оборудование бывает: шнековым, дисковым, корончатым и стреловидным [1].

Опыт эксплуатации данных машин показал, что проходческие комбайны имеют ряд недостатков, а именно устаревшие схемы управления, не имеет телескопической подачи стрелы, из-за значительных динамических нагрузок, наблюдается особенно быстрый износ зубьев коронки, а так же нежелательные вибрации и колебания на

стрелу между аксиально резовыми коронками, по этому актуальный вопрос при эксплуатации проходческого комбайна является повышение надежности исполнительного органа.

Одним из способов повышения надежности исполнительного органа является упрощение узла передачи вращения от привода к режущим коронкам.

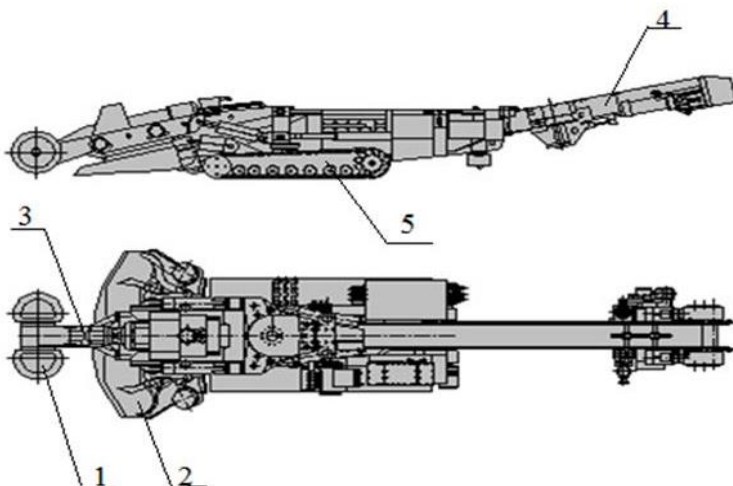


Рисунок 1 – Проходческий комбайн П110:

1 - аксиальная резовая коронка; 2 - погрузочный ствол; 3 - стреловидный исполнительный орган; 4 – перегружатель; 5 - гусеничная ходовая часть;

Исполнительный орган (рис. 2) выполнен в виде двух коронок 2,3 взаимодействующих между собой посредством приводных колес 6,7.

Коронки и приводные колеса установлены на расположенных под углом водилах 4,5. От приводного вала 11 вращение по средствам конических колес 12 и 10 передается на солнечное колесо 9, находящиеся в зацеплении с сателлитами 8, установленными в водиле 4.

Последнее приходит во вращение и передает его режущей коронке и по средством приводных колес 6 и 7 водилу 5, на котором установлена режущая коронка 3, т.е. режущие коронки установлены с возможностью взаимодействия между собой по средством приводных колес на водилах, приводные оси которых расположены под углом. При этом приводные колеса закреплены на водилах а солнечные колеса

взаимодействуют с приводным валом посредством конических колес [3].

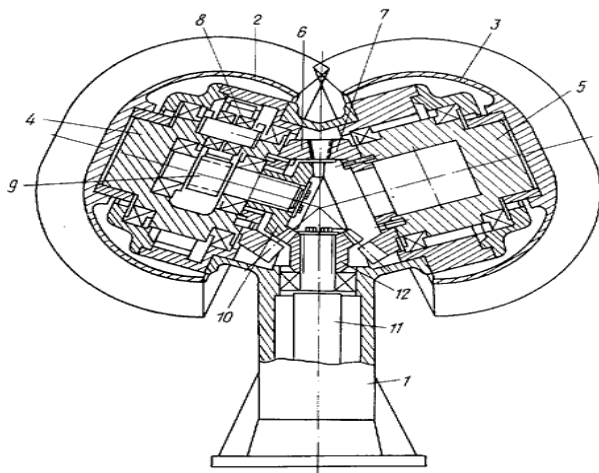


Рисунок 2 – Исполнительный орган в виде двух коронок:
1 - исполнительный орган; 2,3 - режущие коронки; 4,5 – водила;
6,7 - приводные колеса; 8 – сателлиты; 9 - солнечное колесо;
10 - коническое колесо; 11- приводной вал;
12 - коническое колесо;

Режущая коронка (рис. 3) снабжена крышкой жестко прикрепленной одним торцом к корпусу редуктора с охватом венца внутреннего зацепления. Уплотнительные элементы установлены в месте взаимодействия другого торца крышки редуктора с венцом внутреннего зацепления. При вращении режущей коронки в корпусе 1 с резцами 2 вода подводится снаружи через корпус редуктора 6, трубопровод 7, закрепленный неподвижно на корпусе редуктора, проходящий через полый концевой вал венца 3 передачи внутреннего зацепления к водосъемнику 11, обеспечивающему передачу воды с неподвижного трубопровода к вращающемуся валу венца 3, и далее через каналы 8 в этом валу и в корпусе режущей коронки в рабочую зону резцов 2, для того, чтобы просачивающаяся через водосъемник 11 вода не попала в полость редуктора; между ними установлено дополнительное уплотнение 12 и зона (между устройством 11 и дополнительным уплотнителем 12) посредством каналов 10 в

упомянутом полом концевом валу венца сообщается с атмосферой, т.е. утечки воды выходят наружу. Такое устройство также позволяет легко обнаружить повреждение водосъемника.

Таким образом, уменьшая диаметр используемых в устройстве уплотнительных элементов, предупреждают последствия просачивания воды через водосъемник, что способствует обеспечению надежности в работе уплотнений в коронке и следовательно, всего исполнительного органа горной машины [4].

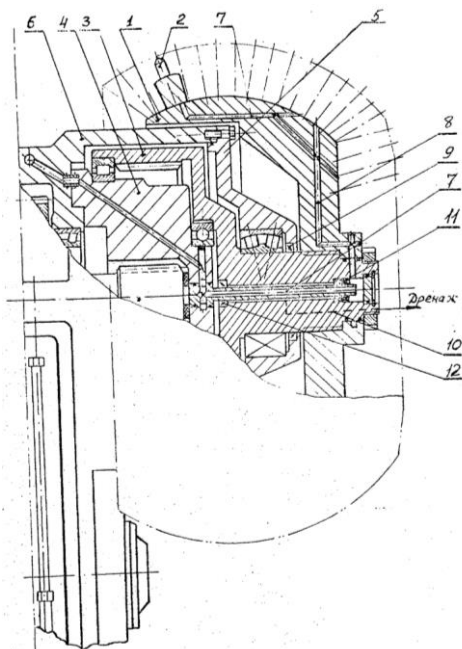


Рисунок 3 – Исполнительный орган установленный на полов валу:

- 1 - корпус; 2 – резцы; 3 - концевой вал венца; 4 – водило; 5 – крышка;
- 6 – редуктор; 7 – трубопровод; 8 – каналы; 9 - уплотнительный элемент;
- 10 - каналы в полом концевом валу; 11 – водосъемник;
- 12 - дополнительный уплотнитель;

Режущая коронка исполнительного органа горной машины, включающая корпус коронки, установленный на полом валу, выполненном с венцом внутреннего зацепления, размещенные на

корпусе коронки резцы, редуктор корпус которого размещен внутри корпуса коронки, и выполненные в нем каналы подвода воды к резцам, уплотнения и водосъемник, различающаяся тем, что, с целью повышения надежности исполнительного органа за счет уменьшения диаметра уплотнительных элементов, режущая коронка снабжена жестко прикрепленной одним торцом к корпусу редуктора крышкой с охватом венца внутреннего зацепления, при этом уплотнительные элементы установлены в месте взаимодействия другого торца крышки редуктора, с венцом внутреннего зацепления, а водосъемник соединен с полым валом посредством дополнительных каналов, выполненных в стенках вала для соединения с атмосферой.

Коронка по п.1, отличающаяся тем, что она снабжена дополнительным уплотнением, установленным между венцом вала и водосъемником [4].

Таким образом, заменив сателлиты соединяющие солнечное колесо и приводной вал на конические колеса [3] (рис.2), существенно упрощает конструкцию. А установив уплотнитель [4] (рис.3) на крышки редуктора, а водосъемник соединён с полым валом по средствам дополнительных каналов проделанных в валу для соединения с атмосферой. Повышается надежность исполнительного органа за счет уменьшения диаметра уплотнительных элементов.

Список литературы:

1. Анистратов Ю.И. Технология открытой добычи руд редких и радиоактивных металлов.М., Недра, 2008.
2. Брюховецкий О.С., Бунин Ж.В., Ковалев И.А. Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых. М., Недра,2009.
3. Авторское свидетельство №1314046 МПК E21C27/24, Авторы: Вахрушев В.Н., Гюбрен Г.Э.
4. Авторское свидетельство №1797653 А3 E21C27/24, Авторы: Середняков Г.П., Скуров А.Г., Динкевич Л.А.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА

**Лозовая С.Ю., д-р. техн. наук,
Богданов Д.В., канд. техн. наук, доц.,
Завгородний А.С., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им В.Г. Шухова*

У экскавационно-транспортных машин [1-2] непрерывного действия, к которым относится роторный экскаватор, главным из основных параметров является теоретическая производительность в рыхлой массе. К другим их параметрам относятся: высота, глубина и расчетная удельная сила копания, которые необходимо учитывать данные параметры для обеспечения технологии безотказной работы роторного экскаватора при эксплуатации с максимальными нагрузками на узлы и механизмы.

В настоящее время роторный экскаватор успешно применяют для экскавации не только мягких и средней крепости, а также крепких пород, при эксплуатации их в районах и с резко-континентальным климатом. Они, как правило, имеют теоретическую производительность от 100 до 20000 м³/ч, а область их применения расширяется как по виду работ, так и по климатическим, гидрологическим и горногеологическим условиям. Роторные экскаваторы применяются для:

- вскрышных и добычных работах верхним или нижним черпанием;
- удаления породы в отвал селективной выемки маломощных пластов и разноразмерных пропластков полезного ископаемого;
- рытье каналов и траншей;
- погрузки горной породы;
- транспортировки вскрышных пород и полезных ископаемых, а также для складирования материалов.

Кроме выше названных условий применение роторных экскаваторов в каждом конкретном случае определяется свойствами разрабатываемой среды, качеством извлекаемой горной массы, технологией работы и параметрами забоя, видом и параметрами транспортных средств, а также организацией работ на предприятии.

Наиболее нагруженными являются опорно-поворотные механизмы экскаватора [1-2]. Которые подвергается большим статистическим и динамическим нагрузкам, зависящих от конструкции, способов управления механизмами, условий эксплуатации электроснабжения и

особенностям технологического процесса. Механизмы разворота экскаватора и поворота разгрузочной консоли являются установочными, т.е. не требуют обеспечения высокой динамики при изменении скорости, т.к. работают в кратковременных режимах.

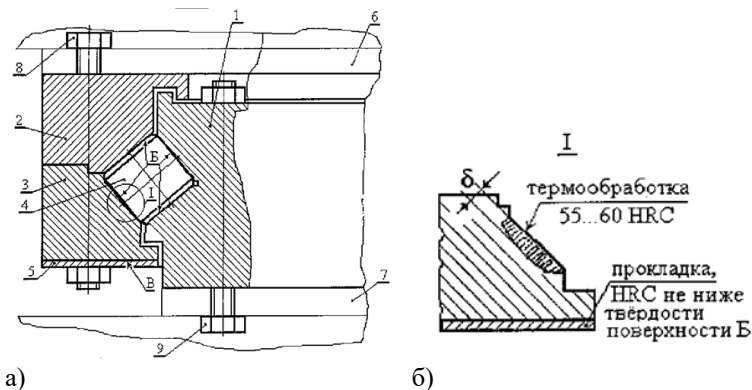
Поэтому для выбора режимов работы механизмов поворотного устройства нужно учитывать, что:

- момент сопротивления механизма реактивный, пульсирующий; постоянная составляющая силы резания и, следовательно, момента сопротивления прямо пропорциональна скорости продольной подачи, которую обеспечивает привод поворота стрелы;

- существенные колебания частоты вращения роторного колеса под воздействием нагрузки недопустимы, так как возникает продолжительная обратная связь по моменту нагрузки: снижение частоты вращения роторного колеса при неизменной скорости подачи приводит к увеличению момента сопротивления приводов роторного колеса и поворота стрелы; при этом могут возникнуть перегрузки и колебания роторной стрелы и металлоконструкций экскаватора;

- возможность технологических перегрузок и режимов стопорения при встрече ковшей с непреодолимым препятствием обуславливает необходимость ограничения момента привода.

Для повышения надежности и долговечности работы опорно-поворотного механизма роторного экскаватора предлагается [3] в его опорно-поворотном круге (рис. 1, *a*), состоящем из неподвижного и подвижных верхнего и нижнего колец, скрепленных между собой болтами. Между ними установлены тела качения. При этом на нижнее подвижное кольцо крепится прокладка (рис. 1, *б*) из высокопрочного материала, которая устанавливается с его нижней стороны. Она может быть секционной с расположением стыков в ненагруженных зонах и крепиться винтами или клеящим материалом.



а) Рисунок 1 – Сечение поворотного круга роторного экскаватора (а);
 фрагмент сечения беговой дорожки нижнего круга (б):
 неподвижное кольцо 1, верхнее подвижное кольцо 2, нижнее
 подвижное кольцо 3, тела качения 4, высокопрочная прокладка 5, беговые
 дорожки 6, неповоротную часть поворотного устройства 7, болты 8, 9

Тут нужно отметить, что к недостаткам работы и эксплуатации опорно-поворотных кругов относят, то что [1-2]:

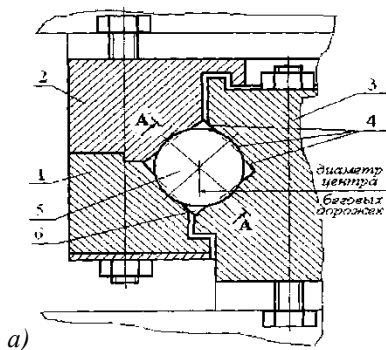
- в кругах с шариковыми телами качения нагрузку воспринимают 50% тел качения независимо от направления нагрузки, при этом в процессе работы по периметру дорожек качения образуются сферические кольцевые канавки, а это провоцирует износ беговых дорожек колец опорно-поворотного круга, что является их недостатком с шариковыми телами качения;

- в кругах с роликовыми телами качения ролики находятся в линейном контакте с беговыми дорожками и в постоянном точечном контакте между собой, т.е. в процессе работы контакт роликов между собой происходит по кольцевой линии, вся же остальная их поверхность оказывается вне зоны контакта.

В широко применяемых конструкциях [1-2] опорно-поворотных кругов с крестообразно расположенными роликовыми телами качения беговые дорожки работают попарно в зависимости от нагрузки. Всего в передаче нагрузок в одном направлении может участвовать до 50% роликов от их общего количества в поворотном круге, но из них только 25% роликов воспринимают нагрузку. Поэтому в большинстве случаев ролики опорно-поворотного круга, проработавшие 3...5 лет, имеют износ в виде кольцевой канавки по поверхности, по которой и происходит их разрушение.

Одновременно образуются кольцевые выступы на поверхности беговых дорожек, что в совокупности приводит к выходу из строя опорно-поворотного круга. Это является недостатком известных конструкций опорно-поворотных кругов с роликовыми телами качения.

Для повышения надежности работы опорно-поворотного круга роторного экскаватора [4] (рис. 2, а) поперечное сечение профиля беговых дорожек выполняется в виде равно-наклонного к основанию круга квадрата, с выполненными в центре каждой его стороны радиусными выемками, а беговые дорожки состоят из восьми прямолинейных и четырех радиусных поверхностей, расположенных по диаметру колец круга. В них установлены в беговых дорожках с прямолинейными поверхностями - крестообразно роликовые тела качения, а между ними в беговых дорожках с радиусными поверхностями - шариковые тела качения (рис. 2, б), причем диаметр шариков превышает диаметр роликов, а ширина радиусных выемок для шариковых тел качения выполнена в пределах от 0,004 диаметра центра беговых дорожек колец поворотного круга до 1/3 ширины ролика (расчет выполнен, согласно рекомендациями [2]). При установке тел качения, т.о. нагрузки распространяются и на дополнительные радиусные поверхности беговых дорожек, а общее количество тел качения, которые будут работать и воспринимать нагрузку в любом направлении, составит до 65% от общего числа. Это позволит более рационально распределить прилагаемые и снизить контактные нагрузки на беговые дорожки до 25%, тем самым повысить их грузонесущую способность.



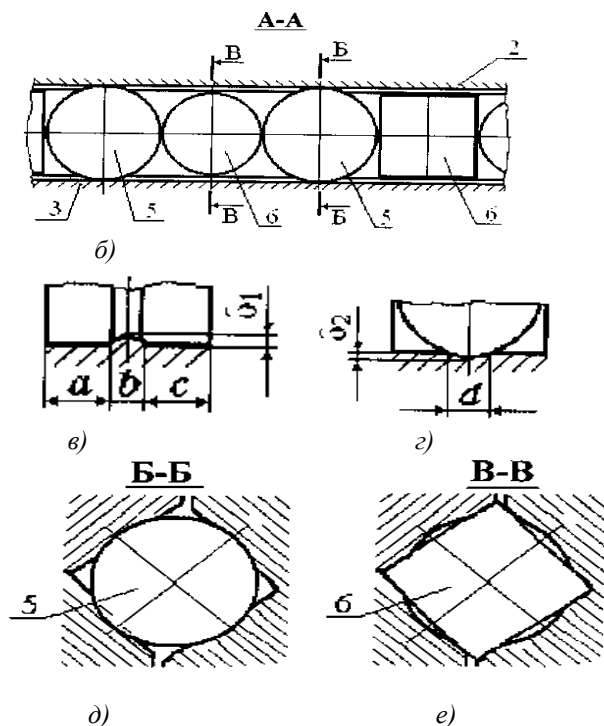


Рисунок 2 – Опорно-поворотный круг:

a - сечение профиля опорно-поворотного круга:

1, 2 – подвижные кольца, 3 – неподвижное кольцо, 4 – беговые дорожки,

5, 6 – шариковые и роликовые тела качения;

б – продольное сечение А-А дорожки поворотного круга и расположение тел качения;

в – места износа поверхности ролика *б* шириной «*b*»; участки «*a*», «*c*» представляют изнашиваемые выдавливанием поверхности 5 прямолинейной беговой дорожки, в результате чего образуется поверхность в виде кольцевого выступа «*б*» высотой δ_1 на беговой дорожке;

2 – место износа на беговой дорожке от шариковых тел качения в виде сферической кольцевой канавки «*d*» глубиной δ_2 ;

д – сечение Б-Б опорно-поворотного круга с расположенными шариковыми телами качения 5, находящимися между беговыми дорожками в точечном контакте;

е – прямолинейные поверхности беговых дорожек в линейном контакте с роликами

Предложенный профиль беговой дорожки колец 1, 2, 3 (рис. 2, а-б) позволяет устанавливать в беговых дорожках опорно-поворотного круга крестообразно роликовые и между ними шариковые тела качения, тем самым увеличить общую рабочую поверхность в зонах контакта с беговыми дорожками. Конструктивное изменение беговых дорожек состоит в том, что на месте выступа «б» (рис. 2, в), который образуется в процессе эксплуатации на беговых дорожках круга с роликовыми телами качения, выполняется радиусная выемка для размещения шариков (рис. 2, г). Это исключает возможность появления выступа. Благодаря такой конструкции опорно-поворотного круга процесс износа дорожек качения продлевается во времени, что повышает долговечность круга в целом.

Простой роторного экскаватора в час составляет более нескольких тыс. десятков рублей в зависимости от стоимости добываемого материала. Поэтому повышение надежности работы опорно-поворотного круга, как наиболее нагруженной части экскаватора снизит затраты на эксплуатацию и на ремонт [5].

Список литературы:

1. Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкции, теория и расчет. М., изд-во «Машиностроение», 1972, 432 стр.
2. Справочник механика открытых работ. Эскавационные транспортные машины цикличного действия/М.И Щадов, Р.Ю. Подэрни, Е.Н. Улицкий и др. ; Под. ред. М.И. Щадова, Р.Ю. Подэрни. М.: Недра, 1989. 374 с.: ил.
3. Опорно-поворотное устройство. Проломов А.М., Глускин И.Р., Котельников В.С. Заявка: 2004138055/11 от 24.12.2004, МПК RU 2280611С1, дата начала отсчета срока действия патента: 24.12.2004. Опубликовано: 27.07.2006 Бюл. № 21.
4. Опорно-поворотное устройство. Проломов А.М., Глускин И.Р., Котельников В.С., Проломов А.А. Заявка: 2007100451/11 от 09.01.2007, МПК В66С 23/84. Дата начала отсчета срока действия патента: 09.01.2007 Опубликовано: 10.10.2008 Бюл. № 28.
5. Лозовая С.Ю. Обеспечение надёжности горных машин и оборудования / учеб. Пособие. Белгород: изд-во БГТУ, 2011. 70 с.

АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС В СЕПАРАТОРАХ ПРОХОДНОГО ТИПА

**Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,
Стовпенко А.С., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Получение отделочных материалов, пластмасс, линолеума и других строительных материалов, обладающих высокими потребительскими качествами возможно на основе применения составляющих компонентов, размер частиц которых менее 5 мкм.

Одними из важнейших направлений в промышленности строительных материалов и строительстве являются: применение композиционных отделочных материалов с высокой заводской готовностью - использование лаков, красок, обладающих большой покрывной способностью; применение пластмасс для изготовления широкой гаммы изделий, обладающих высокой прочностью.

В состав технологии получения таких порошков кроме сушки и измельчения обязательно входит процесс классификации. Из всех возможных машин для классификации, в области тонкого измельчения хорошо зарекомендовали себя и получили распространение в промышленности центробежные воздушно-проходные сепараторы.

При классификации порошков с размером частиц более 20 мкм ввиду их значительной адгезии, происходит агломерация, что требует дополнительной операции по их дезагломерации в специальных устройствах по сухому, либо мокрому способу. В существующих сепараторах дезагломерацию можно произвести, но при этом необходимы существенные конструктивные изменения.

Принцип их действия заключается в том, что частицы материала подвергаются одновременно действию двух сил – центробежной, создаваемой вращением потока, и радиальной, создаваемой движением потока по спирали к центру сепарационной камеры (рис. 1).

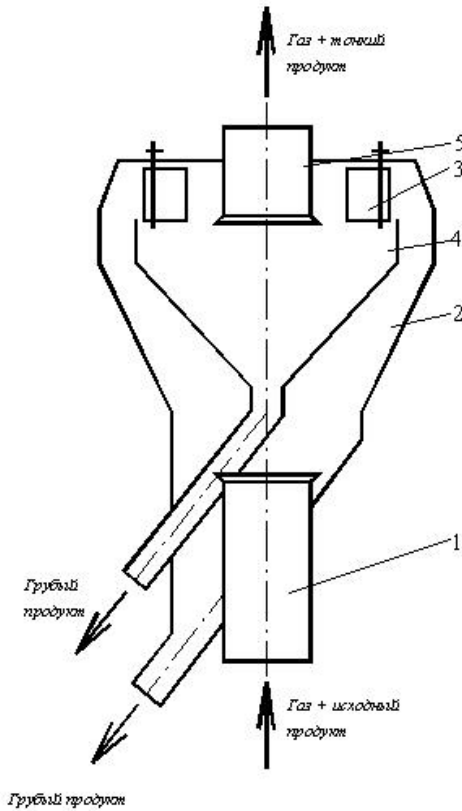


Рисунок 1 – Схема сепаратора типа СПЦВ конструкции ТКЗ-ВТИ
 1 – входной патрубок; 2 – гравитационно-инерционная ступень классификации; 3 – закручивающие лопатки; 4 – центробежная зона классификации; 5 – выходной патрубок

Рассмотрим процесс перемещения воздушных масс в сепараторе на примере имитационного моделирования процессов, происходящих в сепараторе. На рис. 2 можно увидеть характер перемещения воздушной массы внутри сепаратора. Стоит отметить, что зона разделения потоков находится примерно в средней зоне конструкции большого конуса, а так же в середине конструкции внутреннего конуса. Именно в этих зонах можно увидеть характер движения потока.

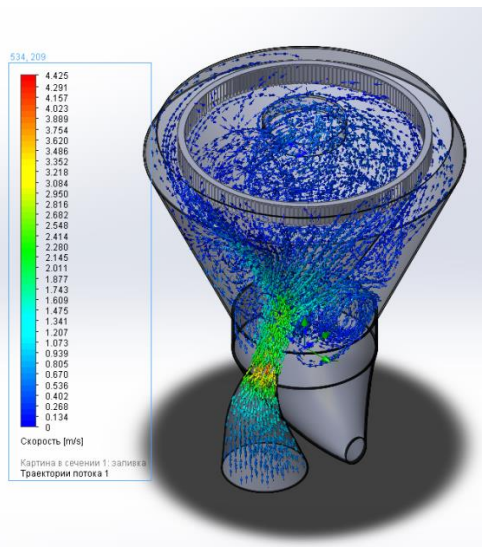


Рисунок 2 – Характер перемещения воздушных масс внутри сепаратора.

Воздушная среда поступает в рабочую зону сепаратора радиально, благодаря входному патрубку имеющего форму цилиндра, соответствующе расположенного к внешнему конусу сепаратора, что повышает давление на входе воздушной смеси. При входе в рабочую камеру скорости частиц резко снижается, и таким образом самые крупные направляются к выходному патрубку грубой фракции 1 (Рис.1). При радиальной подаче воздушной смеси, центробежная сила отбрасывает более тяжелые частицы на стенки внешнего конуса и направляет их к выходному патрубку грубой фракции 1. Более легкая фракция поднимается вверх к закручивающимся лопаткам 3 снижая скорость частиц, из которого наиболее крупные частицы из общей массы смеси, попавшей во внутренний конус удаляется из зоны сепарации в патрубок 7. При этом (рис.2) более легкие частицы поднимаются вместе с воздухом в патрубок 5. Стоит отметить, что при высокой интенсивности потока воздушной смеси основная масса разделяемых частиц уходит в патрубок 6 как и грубая фракция 1. Наличие внутреннего конуса снижает скорость частиц и тонкой фракции, что способствует удалению их вместе с грубым продуктом.

Таким образом, эффективность разделения разных материалов (известняк, доломит, поливинилхлорид, пигменты, корунд, уголь) в этих сепараторах довольно низкая ($\alpha_{\varphi} = 0,2 - 0,35$), несмотря на широкое

распространение при этом граница разделения составляет 20 – 100 мкм, достигая в отдельных установках 10 мкм. Низкая эффективность обусловлена двумя причинами:

во-первых, нерационально организован процесс во второй (центробежной) ступени, где разделение носит, по существу, циклонный характер. Взаимная ориентация альтернативных сил классификации различается по высоте ступени и не составляет благоприятного угла 180° во всем пространстве ступени.

во-вторых, первая ступень этого сепаратора обеспечивает разделяющее действие на 15 – 20% от массы исходного продукта без его классификации, и поэтому только в малой степени снижает концентрацию на входе во вторую ступень. Классифицирующее действие первой ступени проявляется лишь при пятикратном увеличении ее высоты, что, как правило неприемлемо из-за чрезмерного увеличения габаритов аппарата.

Список литературы:

1. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. М.: Госгортехиздат, 1940, 612 с.
2. Нормы расчета и проектирования пылеприготовительных установок – М. Л.: Госэнергоиздат, 1958, 159 с.
3. Сапожников М.Я. «Механическое оборудование предприятий строительных материалов и конструкций» М.: «Высшая школа», 1971, 382с.
4. Ушаков С.Г., Мизонов В.Е. Аэродинамическая классификация порошков М.: Химия, 1989, 160с.
5. Александрова Е.Б., Стадченко А.А.. Динамический сепаратор. Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Материалы межвуз. сб. ст. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. С-13-14.
6. Александрова Е.Б., Стадченко А.А. Сепаратор со смещенным ротором. Научные технологии и инновации. Сб докладов Юбилейной Междунар. научн. практ. конф. посвященной 60 - летию БГТУ им. В.Г. Шухова Белгород : Изд – во БГТУ, 2014 ч. 4. с. 3-4.

БЕТОНЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ БЕТОННОГО ЛОМА

**Муртазаев С-А.Ю., д-р. техн. наук, проф.,
Сайдумов М.С., канд. техн. наук, доц.,
Аласханов А.Х., канд. техн. наук, доц.**

*Грозненской государственной нефтяной технической
университет имени акад. М.Д. Миллионщикова*

Использование доступного, дешевого, часто невостребованного местного сырья в производстве строительных композиционных материалов, к которому, помимо природных ресурсов, можно отнести сырье техногенного происхождения, является одной из важнейших задач современной строительной индустрии [1-3].

Из различных источников известно, что в нашей стране ежегодно образуется около 17 млн. тонн отходов строительства и сноса зданий и сооружений, 60 % которых составляют кирпичные, бетонные и железобетонные отходы. Темпы роста объема указанных отходов составляют около 25 % в год [4].

В одной только Чеченской Республике за последние два десятилетия частично или полностью разрушены тысячи зданий и сооружений из кирпича, бетона и железобетона с образованием огромного количества техногенного сырья, которое приводит загрязнению окружающей среды городов.

Производство строительных композитов может быть осуществлено с использованием техногенного сырья [5,6].

Имеется многолетний опыт использования заполнителей из бетонного лома в качестве сырья для производства строительных материалов и изделий, однако принципы их правильного применения с учетом их химического и вещественного состава достаточно четко не изучены и не разъяснены.

Проблема ликвидации бетонных и других строительных отходов, возникающих в результате сноса зданий и сооружений, в настоящее время очень актуальна, особенно для крупных мегаполисов Российской Федерации, а также ближнего и дальнего зарубежья. Прежде всего, это связано с отсутствием возможности размещать такое огромное количество отходов на городских и пригородных свалках, так как это может привести к катастрофическому загрязнению окружающей среды городов. [2].

Несмотря на то, что техногенное сырье используется в нашей стране крайне мало из-за малоизученности их свойств, в последнее время производство вторичных материалов на их основе растет и набирает темпы, и они становятся серьезной альтернативой традиционным строительным материалам.

В настоящее время многими учеными исследуются свойства вторичных заполнителей из бетонного лома. Их применяют для обустройства щебеночных оснований под полы и фундаменты зданий, под асфальтобетонные покрытия дорог всех классов, в качестве крупного заполнителя в бетонах, при производстве бетонных и железобетонных изделий, при отсыпке временных дорог, при подсыпке под все виды тротуарных дорожек, при подсыпке под автостоянки и асфальтированные площадки, под фундаментное основание, в ландшафтной архитектуре и т.д.

При дроблении бетонного лома помимо крупного заполнителя образуются отсевы дробления, объем которых составляет около 25-30 % от дробимого материала, которые в настоящее время не используются из-за содержания в них так называемой каменной муки. Отсевы дробления бетонного лома представляют собой частицы размером менее 5 мм. Особенностью данных отсевов является то, что они образованы из обломков зерен крупного и мелкого заполнителей и цементного камня дробимого бетона, который по структуре своей является многокомпонентной системой.

Единственным правильным решением данной проблемы является утилизация пылевидной части отсева дробления бетонного лома путем его вторичного использования в практике строительного материаловедения, т.е. использовать его в качестве активного наполнителя в производстве многокомпонентных высокоактивных вяжущих и как мелкий заполнитель для получения композиционных материалов на их основе, пылевидное составляющее которого играет одновременно еще и роль низкомарочного вяжущего.

К тому же использование отсевов дробления бетонного лома в строительных композитах позволит почти без затрат увеличить объем производства продукции более чем на 10 % и даст значительный экономический эффект [8].

Таким образом, для повышения эффективности использования отсевов дробления бетонного лома были проведены исследования их свойств на пробах, отобранных из конструкций зданий в Чеченской Республике, подвергшихся полному или частичному разрушению.

Исследования проводились на отсевах дробления таких сборных

железобетонных конструкций как плиты перекрытия, ригели, перемычки, колонны, лестничные марши с учетом их первоначальной прочности и срока эксплуатации.

Изучены гранулометрический (табл. 1), минеральный и химический составы (табл. 2) этих продуктов.

Таблица 1 – Гранулометрический состав отсева дробления бетонного лома

Наименование сырья для отсева	Остатки на ситах, % по массе					Проходит через сито №0,16, % по массе	глин. частиц, % по	Модуль крупности M_k
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16			
	частный полный	частный полный	частный полный	частный полный	частный полный			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бетонный лом	18,3	10,4	7,1	25,7	22,6	15,9	-	2,3
	18,3	28,7	35,8	61,5	84,1			

Химический состав отхода дробления, представленный в таблице 2, свидетельствует о возможном наличии в материале соединений способных твердеть при взаимодействии с водой.

Имея, на первый взгляд, непригодную для использования в композитах гранулометрию, данный отход дробления, как было доказано лабораторными исследованиями, обладает рядом достоинств, которым в настоящее время не придают значения.

К тому же, используя современные теоретические и практические методы исследования, ученые МГСУ [9] показали преимущества вторичного использования мелкой фракции отсева дробления в качестве мелкого заполнителя и активной составляющей бетонов плотной и ячеистой структуры. Соединения, входящие в состав отсева дробления, свидетельствуют о химической однородности данного отхода с минералами портландцемента.

Таблица 2. Химический состав продукта дробления бетонного лома

№ п.п.	Компоненты (оксиды), входящие в состав отсева дробления бетонного лома	Содержание, %, в отсевах дробления бетонного лома
1	SiO ₂	51,40
2	CaO	35,23
3	Al ₂ O ₃	5,01
4	Fe ₂ O ₃	3,72
5	K ₂ O	1,50
6	MgO	1,25
7	SO ₃	0,60
8	Na ₂ O	0,51
9	TiO ₂	0,31
10	MnO	0,08
11	Другие неорганические компоненты	0,29
12	п.п.п.	0,10

При изучении минерального состава отсева дробления бетонного лома с помощью рентгенографического анализа зафиксированы следующие минералы и продукты гидратации цемента: кварц в количестве 50 %, кальцит – около 30 %, гидросиликаты кальция – до 6 % и другие соединения. Особенно следует отметить наличие негидратированного портландцемента в количестве 4 % по массе, что составляет около 30 % по массе от исходного портландцемента, который применялся при производстве железобетонных конструкций.

Исследования проводились на отходах дробления бетонных конструкций, в которых в качестве заполнителей применялись известковый щебень и кварцевый песок, что объясняет сравнительно большое содержание кальцита.

Для выявления гидравлической активности отсева дробления бетонного лома производили его помол до разных значений удельной поверхности, а затем готовили тесто нормальной густоты отдельно с каждым порошком разного помола. Полученные данные показали, что при увеличении тонкости помола продукта дробления происходит увеличение прочности затвердевшей композиции.

Начало и конец схватывания теста наблюдается уже при помолоте отсева дробления до удельной поверхности $S_{уд} = 250-350 \text{ м}^2/\text{кг}$ (начало схватывания - 6 часов и конец схватывания - 15 часов), далее с увеличением тонкости помола эти сроки уменьшаются и при удельной поверхности равной $900 \text{ м}^2/\text{кг}$

начало схватывания происходит через 1 час, а конец через 3 часа 10 мин (рис. 1 и табл. 3).

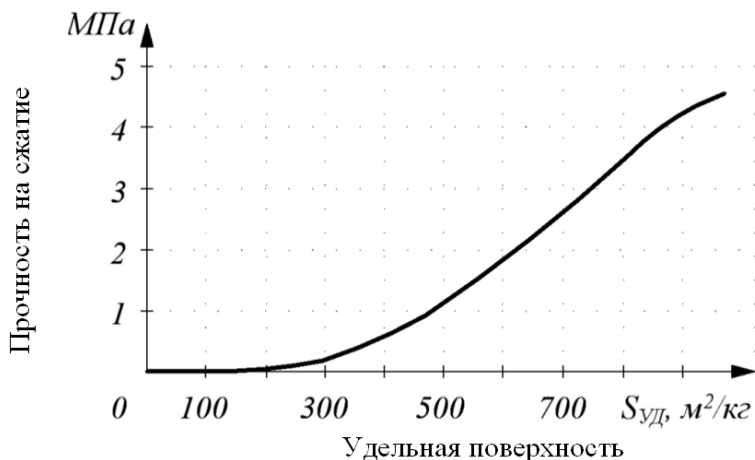


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности на сжатие образцов в возрасте 28 суток от удельной поверхности молотого отсева дробления бетонного лома

О степени взаимодействия исходного и молотого отсева дробления с цементом судили по результатам исследования затвердевших растворных образцов. Последние готовили путем смешивания немолотого и молотого отсева дробления, в отдельности, с цементом М500 в соотношении 1:3 при В/Ц = 0,4. Тонкость помола отсева дробления составляла 300 м²/кг.

Прочность образцов на сжатие $R_{сж}$ с молотым отсевом дробления выше прочности образцов с немолотым примерно на 10-30 %. Полученные данные можно объяснить наличием негидратированного цемента, который удалось «пробудить» в процессе помола, а также реакционной способностью карбонатов, имеющихся в отсеве. Входящие в состав молотого отсева дробления тонкодисперсные карбонаты кальция (25-30 % $CaCO_3$ по массе) играют роль микровключений в матричном материале, образуют каркас и помогают создавать прочную микробетонную структуру.

Таблица 3 – Влияние тонкости помола отсева дробления бетонного лома на физико-механические свойства затвердевшего теста

Удельная поверхность $S_{уд.}, м^2/кг$	В/Т	Сроки схватывания		R _{сж} через 1 сутки после пропаривания, МПа	R _{сж} через 15 суток после пропаривания, МПа
		Начало	Конец		
65 (не молотый)	0,33	Более 12 часов	-	0	0
300	0,16	5 часов 30 мин	Более 14 часов	0,18	0,22
450	0,18	3 часа 10 мин	Более 12 часов	0,63	0,72
550	0,20	1 час 50 мин	8 часов 30 мин	0,96	1,15
900	0,21	1 час	3 часа 10 мин	3,95	4,34

Выступая в качестве зародышей, центров кристаллизации в процессе структурообразования, карбонаты имеют существенное положительное влияние на физико-химические процессы твердения бетона.

Таким образом, дополнительный помол позволяет вовлечь данный отход в процесс твердения. Это открывает возможность повышения прочностных характеристик бетонных композитов, экономии дорогостоящего и энергоемкого портландцемента при их производстве. Данные результаты были взяты за основу для получения многокомпонентных вяжущих (МКВ) с использованием отсева дробления бетонного лома как активного микронаполнителя.

Для изучения степени влияния наполнителя из отсева дробления бетонного лома на свойства многокомпонентных вяжущих были проведены систематизированные исследования. В качестве вяжущего использовали портландцемент М500 Д0 Чири-Юртовского цементного завода. Приготовление многокомпонентных вяжущих производилось в лабораторной роликовой мельнице МЛР-15 с объемом загрузки 5 кг. Исследовались многокомпонентные вяжущие с содержанием наполнителя от 0 до 60 % и добавки «БИО-НМ» в количестве 1,5-3 % от массы вяжущего. Рецептура и свойства разработанных многокомпонентных вяжущих веществ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Рецептура и свойства многокомпонентных вяжущих

Вид вяжущего	Состав МКВ, % по массе			Sуд, м ² /к г	Нормальная густота, %	Активность вяжущего, МПа
	Чири Юрт. ПЦ	Наполнитель из отсева	Добавка «БИО-НМ»			
МКВ100	100	-	2	541	15	81
МКВ80	80	20	2	548	16	75
МКВ60	60	40	2	562	17	60
МКВ40	40	60	2	579	18	29

Сравнительные данные по пористости цементного камня на основе исходного портландцемента и портландцемента, прошедшего механохимическую обработку, показали, что пористость цементного камня на МКВ60 снижается почти в 2 раза по сравнению с пористостью цементного камня на портландцементе. В 6-6,5 раз снижается количество крупных (капиллярных) пор радиусом более 1 мкм, на порядок уменьшается содержание капиллярных пор радиусом 1-0,1 мкм. Эффективный радиус пор смещается в сторону более тонких.

При исследовании свойств бетонных композитов на основе разработанных многокомпонентных вяжущих с наполнителем из отсева дробления бетонного лома установлено, что полученные бетонные композиты различного класса по прочности характеризуются слитной структурой и значительным снижением клинкерной составляющей. Отношение призмочной прочности к кубиковой находится в пределах 0,79-0,81 и возрастает с увеличением прочности многокомпонентных вяжущих.

Кроме того, бетонные композиты на основе многокомпонентных вяжущих веществ имеют более длительный на 3-6 ч период формирования структуры по сравнению с бетонами на основе портландцемента и имеют умеренные относительные деформации усадки, которые не превышают 0,7-0,85 мм/м и отличаются повышенной плотностью, прочностью, низким радиусом пор, а, следовательно, повышенной стойкостью и водонепроницаемостью.

Список литературы:

1. Попов К.Н. Новые строительные материалы и материалы из промышленных отходов / К.Н. Попов [и др.]. М.: Логос-Развитие, 2002. 152 с.
2. Баженов Ю.М. Мелкозернистые бетоны из техногенного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / Ю.М. Баженов, Д.К.-С. Батаев, Х.Н. Мажиев [и др.]. Грозный, 2011. С.342.
3. Александров А.В. Снос зданий и переработка строительного мусора // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. 2003. №1. С.50.
4. Заурбеков Ш.Ш. Утилизация бетонного и железобетонного лома /Ш.Ш. Заурбеков, М.С. Сайдумов, М.А.-В. Абдуллаев [и др.] //Экология и промышленность России. 2011. №2. С.26-28.
5. Исмаилова З.Х. Эффективные мелкозернистые бетоны на основе техногенного сырья из золошлаковых смесей /З.Х. Исмаилова, С.А. Алиев, Б.Т. Муртазаев [и др.] // Экология и промышленность России. 2011. №7. С.23-25.
6. Буткевич Г.Р. Нужно увеличивать производственную мощность карьеров. //Технологии строительства. 2007. № 7 (55). С.146-147.
7. Рахимов Р.З. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья / Р.З. Рахимов, У.Х. Магдеев, В.Н. Ярмаковский // Материалы межд. конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008». Современные проблемы строительного материаловедения и технологии, 2008. С. 441-448.
8. Чистов Ю.Д. Ячеистые бетоны из мелких отходов дробления бетонного лома – путь к малоотходным технологиям в строительстве /Ю.Д. Чистов, М.В. Краснов // Популярное бетоноведение. 2005. № 6. С. 24-29.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МАЛОТОННАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Мусиенко О.М., магистрант,
Веремеенко Д.В., магистрант,
Уральский В.И., канд. техн. наук, доц.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова*

Смешение – процесс образования однородных систем из сыпучих материалов и пластических материалов. Смешения широко применяют в пищевой и химической промышленности. Основная цель процесса смешения – получение однородной смеси из отдельных компонентов. Соотношение масс компонентов, входящих в смесь, изменяется в различных производствах в широком диапазоне.

Классификация смесителей. Применяемые в настоящее время смесители для подготовки смесей можно классифицировать следующим образом:

по характеру протекающего процесса смешения — смесители периодического и непрерывного действия;

по способу воздействия на смесь — смесители гравитационные, центробежные, с механическим воздействием рабочих органов;

по конструктивному признаку — смесители с перемешивающим устройствами, с быстроходными роторами, вибрационные;

по влажности (физическому состоянию) готовящейся смеси - смесители для сыпучих, влажных и жидких масс;

Важнейшей составной частью любого процесса смешения является механизм смесеобразования, то есть изменение порядка и последовательности действий перераспределения исходных компонентов в рабочем объеме камеры и получения оптимальной поверхности реагирующих веществ.

Смесеобразование представляет собой процесс получения нового материала из двух или нескольких исходных компонентов. Целью данного процесса является:

- получение принципиально новых материалов;
- придание материалам новых физико-химических свойств;
- интенсификация или замедление тепло - и массообменных, химических и биохимических процессов.

Поскольку свойства сыпучих материалов разнообразны, то в настоящее время разработана большая номенклатура видов

смесительного оборудования. В зависимости от конструкции в рабочей камере смесителя могут преобладать следующие механизмы смешения: циркуляционный, объемный, диффузионный. Основным элементом смесителя является камера гомогенизации, в которой расположены рабочие органы, перемещающие компоненты по пересекающимся траекториям.

В современной промышленности используются аппараты, эффект смешения в которых основан на различных физических воздействиях, например: механические, струйные, пневматические, статические, импульсные, вибрационные и т.д. Различают два основных вида процесса смешения: периодический и непрерывный.

Рассмотрим основные смесители для сыпучих материалов, порошков и сухих смесей: лопастные смесители сыпучих продуктов периодического действия применяются для смешения сухих многокомпонентных смесей с возможностью ввода жидкостей или микродобавок. Одновальные смесители непрерывного действия в основном используются для производства несложных смесей с большой производительностью, а также для влажных, липких или волокнистых материалов. В том числе для увлажнения и агломерации промышленной пыли или золы, обеззараживания осадка, утилизации шламов и т.д. Вертикальные пневмосмесители целесообразно использовать в качестве смесителей стекольной шихты, сухих строительных смесей и других высокоабразивных сыпучих продуктов. Пищевые смесители из нержавеющей стали с полной выгрузкой находят широкое применение для производства сухих супов, напитков и других концентратов.

Рассмотрим лопастные смесители периодического действия основаны на принципе механического смешения продукта. Форма, расположение и скорость вращения смесительных элементов создают центробежное вихревое движение (кипящий слой), при котором частицы продукта интенсивно перемещаются в трёх плоскостях. В таком режиме обеспечивается высокое качество смешения материалов с различным гранулометрическим составом и насыпной плотностью за короткое время.

Смесители могут использоваться для смешения порошковых материалов, гранул, волокон или паст с низкой вязкостью. Они применяются для производства многокомпонентных смесей с вводом микродобавок или жидкостей, а также для увлажнения, агломерации, измельчения и сушки материала.

Обобщенные технические характеристики по смесителям периодического действия выделив одни из самых важных характеристик, это производительность и потребляемая мощность агрегата. Производительность: от 0.5 до 450 м³/ч, Мощность привода: от 4 до 200 кВт.



Рисунок 1 – Лопастной смеситель периодического действия

Лопастные смесители непрерывного действия основаны на принципе механического смешения продукта. Форма, расположение и скорость вращения смесительных элементов создают центробежное вихревое движение (кипящий слой), при котором частицы продукта интенсивно перемещаются в трёх плоскостях. В таком режиме обеспечивается высокое качество смешения материалов с различным гранулометрическим составом и насыпной плотностью за короткое время. Компоненты поступают через входные фланцы и смешиваются в процессе продвижения к выходу. С помощью заслонки, установленной в смесительной камере перед выходным фланцем, возможна регулировка времени смешивания (заполнения).

Смесители работают с порошковыми материалами, гранулами, волокнами, шламами или пастами с низкой вязкостью. Они применяются при непрерывном процессе производства и в случаях редкой смены рецепта. Смесители могут использоваться для производства смесей с вводом микродобавок или жидкостей, а также для увлажнения, агломерации и сушки материала. Технические характеристики смесителей непрерывного действия примерно такие же

производительность: от 0.5 до 450 м³/ч, а мощность привода: от 4 до 200 кВт.



Рисунок – Лопастной смеситель непрерывного действия

Пневматические смесители сыпучих материалов являются инновационной разработкой компании NOL-TEC. Они состоят из конуса и установленных на нём керамических пневмоклапанов, и применяются для смешения порошковых и гранулированных продуктов с размером частиц не более 6 мм. Благодаря отсутствию движущихся механических частей, пневматические смесители идеально подходят для работы с хрупкими или высокоабразивными материалами. Пневмосмесители устанавливаются на новые или существующие бункеры и силосы. Они могут использоваться как для смешения небольших порций продукта, так и гомогенизации материала в силосах объёмом до 200 м³. В таких смесителях очень большие объёмы смешения, что не целесообразно использовать их для небольших производств.



Рисунок 3 – Пневматический смеситель сыпучих материалов

Таким образом, на основании анализа существующих типов смесительного оборудования можно сделать вывод, что основная масса смесительного оборудования рассчитана на большие объёмы производства, что нецелесообразно для использования в

малотоннажных производств, а так же большие энергетические затраты. Для технологии малотоннажного производства требуется разработка специализированного оборудования, обладающий небольшой производительностью, а так же небольшими энергозатратами. Данное оборудование должно иметь гибкие технологические характеристики, возможность перенастраиваться на схемы производства, работать с широкой гаммой материалов. А также современные смесительные установки должны производить быстрое и высокоэффективное смешение сыпучих материалов.

Список литературы:

1. В.С. Севостьянов, Н.Н. Дубинин, В.И. Уральский, М.Т Макридина. Механическое оборудование для производства керамических и огнеупорных изделий в 2 ч.: Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. Ч.1. 249 с.
2. Е.В. Сеница, В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, А.Б. Бухало. Малотоннажный технологический комплекс и агрегаты для производства активированных композиционных строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №1. С.90-94.
3. Н.П. Несмеянов, П.С. Горшков. Разработка пневмомеханического смесителя для сухих строительных смесей // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб.ст. / под ред. В.С. Богданова. Белгород, 2009. Вып. VIII. С.179-183

ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.,

Картыгин А.В., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

При производстве цемента наибольшее распространение получили барабанные мельницы. Широкое их применение вызвано простотой конструкции, эксплуатационной надежностью и высокой, по сравнению с другими аппаратами для тонкого измельчения, часовой производительностью.

Несмотря на использование операции измельчения в течение длительного времени и в больших масштабах, она не получила достаточной научной обоснованности, которая сделала бы ее наиболее экономичной. Об этом свидетельствует, в первую очередь, очень низкий К.П.Д. установок для измельчения. Так, для шаровых мельниц, являющихся основным технологическим оборудованием для тонкого измельчения материалов, К.П.Д. не превышает, по данным многих исследований, 2% [1], а также они характеризуются высокой энергоемкостью, большим износом мелющих тел (МТ), футеровки, перегоронок. Очевидно, что выбор оптимального режима работы мельницы позволит снизить энергозатраты при измельчении материалов и обеспечить максимальную производительность. Решение задачи оптимизации работы мельницы, а следовательно, и процесса измельчения невозможно без построения модели движения МТ [2].

К настоящему времени трубные и барабанные шаровые мельницы достигли своих предельных размеров и дальнейшее их совершенствование предполагается проводить по следующим направлениям.

Во-первых. Оптимизация конструкции барабана, привода, опорно-ходовой части мельницы с целью повышения надежности, снижения металлоемкости и т.д.

Во-вторых. Разработка специальных конструкций футеровок, обеспечивающих максимальный К.П.Д. передачи энергии от привода к дробящей среде, высокую надежность продольной классификации и предотвращающих поперечную сегрегацию мельничных тел (МТ), имеющих рациональный профиль при минимальной массе и максимальной долговечности.

В-третьих. Оптимизация технологических режимов измельчения, учитывающих конструктивные изменения мельниц и внутримельничных устройств: отработка режимов аспирации; применение новых, более эффективных и дешевых поверхностно-активных веществ (ПАВ); разработка новых способов и совершенствование существующих методов подачи ПАВ в мельницу; применение предварительного дробления клинкера и добавок [3].

Анализ диаграмм помола в трубных мельницах открытого и замкнутого циклов измельчения показывает, что наиболее эффективно процесс измельчения происходит на первых участках мельниц, когда частицы имеют размер более 1 мм и их измельчение в основном происходит по зародышевым трещинам. Когда размер частиц становится таким, что они уже не имеют дефектов структуры - эффективность процесса измельчения резко снижается. Причем уже в первой камере мельницы открытого цикла имеется около 50% частиц, размер которых удовлетворяет требованиям, предъявляемым к готовому продукту. Дальнейшее нахождение частиц размером менее 80 мкм в мельнице приводит к их переизмельчению, что, в конечном счете, снижает качество готового продукта. Кроме этого в результате переизмельчения происходит налипание частиц на мелющие тела и футеровку, затем происходит обратный процесс - агрегация и агломерация.

При этом, сложность изучения механики мелющей загрузки в барабанных мельницах и проектирование рациональных режимов обусловлена возникновением нескольких характерных зон, отличающихся кинематикой. К ним относится сегрегация - расслоение мелющих тел по размерам в поперечном и осевом направлениях. При малых частотах вращения барабана мельницы происходит концентрация мелких шаров в средних частях поперечного сечения, а при скоростях каскадного и водопадного режимов в центральных областях концентрируются крупные шары, в то время как мелкие шары отжимаются к периферии.

Что касается осевого распределения, то в цилиндрических мельницах в следствие разности уровня шароматериальной загрузки у входной и выходной горловин и большого их "пробега" при скатывании по наклонной плоскости крупные шары концентрируются у разгрузочного конца, что приводит к снижению эффективности измельчения.

Работа трубной мельницы состоит в последовательной обработке МТ различных размеров частиц материала при перемещении его от

загрузки к выгрузке. Крупный материал должен быть вначале подвергнут ударному воздействию крупных МТ, а затем, по мере продвижения вдоль мельницы, воздействию мелющих тел постепенно уменьшающихся размеров. Крупные шары эффективны на первых участках мельницы, на последующих - нерациональны, так как сила удара будет излишне велика, а количество ударов - недостаточно. Следовательно, для поддержания соотношения размеров шаров и частиц измельчаемого материала МТ должны располагаться в строго определенном положении.

По длине камеры также целесообразно изменить размеры МТ, обеспечивая на отдельных участках режимы работы и размер мелющих тел, соответствующий гранулометрии измельчаемого материала.

Таким образом, характер распределения МТ в осевом направлении существенно будет влиять на эффективность процесса измельчения, поскольку создается соответствие разрушающих воздействий, их силы и характера размеру частиц, подвергающихся измельчению на данном участке или стадии.

Поэтому важнейшим фактором, в значительной мере решающим поставленные задачи, является использование эффективных внутримельничных устройств, а именно правильное решение о выборе типа бронефутеровки. В работах [2], [3] рассматривался вопрос влияния рабочего профиля бронефутеровки на эффективность процесса измельчения. Установлено, что профиль футеровки определяет режим работы МТ и их классификацию по длине мельницы.

В связи с этим возникает необходимость рассмотреть конструкции и функциональное назначение бронефутеровки как средства получения цементов с учетом физико-механических свойств измельчаемого материала и требований к зерновому составу готового продукта.

Учитывая, что в мельнице происходит стадийный характер измельчения - от ударного в начале до истирающего в конце его - необходимо наиболее рационально использовать энергию мелющих тел, как главных энергоносителей в помольных агрегатах. Должны меняться энергия, частота и характер измельчающих воздействий мелющих тел. Однако, это остается одним из наименее изученных вопросов.

Не смотря на многочисленные попытки теоретического и экспериментального обоснования механизма классификации и значительный промышленный опыт, надежные методы расчета геометрических параметров таких бронефутеровок не разработаны.

Список литературы:

1. Бауман В.А. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций, - М.: Машиностроение, 1981. 324 с.
2. Несмеянов Н.П. Моделирование и интенсификация энергетического воздействия мелющей загрузки в цементных мельницах: дис. канд. техн. наук. Москва, 1994.
3. Несмеянов Н.П., Бузаджи И.В., Синцов Д.И., Анализ влияния внутримельничных энергообменных устройств на эффективность измельчения в трубных шаровых мельницах // Материалы межвузовского сборника статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. С. 166-169 Вып. XIII.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВИДОВ ФУТЕРОВОК ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.,

Картыгин А.В., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

При производстве цемента наибольшее распространение получили барабанные мельницы. Широкое их применение вызвано простотой конструкции, эксплуатационной надежностью и высокой, по сравнению с другими аппаратами для тонкого измельчения, часовой производительностью.

Известно, что при всем многообразии всех факторов, влияющих на процесс измельчения цемента в шаровых мельницах (скорости подачи и физико-механических свойств измельчаемого материала, геометрических размеров, скорости вращения и степени заполнения мелющими телами мельницы, аспирационного режима и др.), собственно разрушение (измельчение) частиц материала происходит только тогда, когда они оказываются в зоне контактного взаимодействия мелющих тел (МТ) друг с другом и с футеровкой [1].

От характера движения мелющих тел, в конечном счете, зависят производительность мельницы, удельные энергозатраты, износ футеровки, мелющих тел и прочее. С этой точки зрения влияющие на процесс измельчения входные факторы могут быть разделены на две группы: факторы, определяющие характер движения мелющей загрузки (такие как скорость вращения и заполнение мелющими телами, профиль футеровки, ассортимент мелющих тел, физико-механические свойства измельчаемого материала и другие) и факторы, значения которых должны определяться характером движения шаровой загрузки (скорость подачи материала, аспирационный режим и другие).

Наиболее рациональным является избирательное измельчение материалов, т.е. частицы различного размера (диаметра) должны подвергаться воздействию МТ, обладающих энергией, достаточной для разрушения до определенного размера этой частицы. Если энергия МТ будет большей, то наблюдается ее перерасход, если — меньшей, то материал из первой камеры будет выходить неподготовленным, что вызывает загрузление помола в целом [2].

Разрабатываемые новые типы футеровок должны обеспечивать классификацию и рациональное распределение энергии МТ по длине

барабана мельницы, чередование водопадного режима работы мелющих тел с каскадным и, следовательно, рациональное, избирательное измельчение шихты.

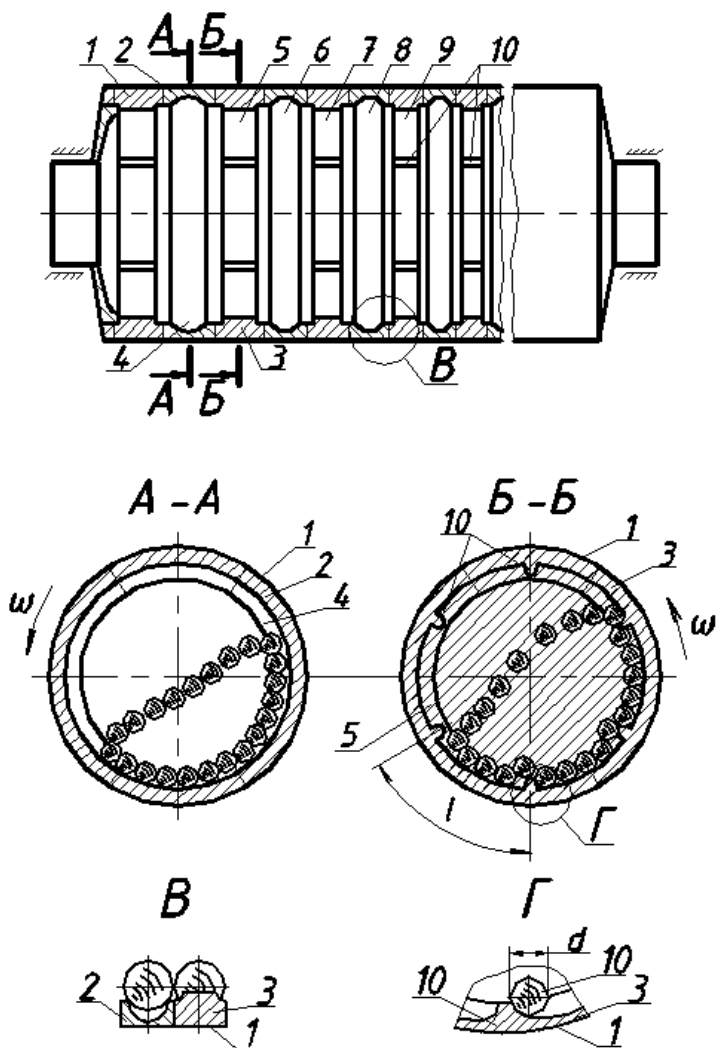


Рисунок 1 – Схема футеровки шаровой мельницы

С целью повышения эффективности классификации МТ вдоль барабана мельницы нами разработана желобчато-зубчатая футеровка[3], у которой радиус желобов убывает от начала к концу барабана мельницы пропорционально радиусам мелющих тел, гладкие желоба чередуются с зубчатыми, а шаг между выступами на каждом зубчатом желобе кратен его радиусу.

Внутренняя поверхность барабана 1 мельницы (рис.1) футерована бронеплитами 2 с гладкими желобами и бронеплитами 3, желоба которых снабжены выступами 10. Гладкие желобчатые 2 и желобчато-зубчатые бронеплиты 3 образуют чередующиеся кольцевые гладкие желоба 4, 6 и 8 и желоба 5, 7 и 9 с выступами.

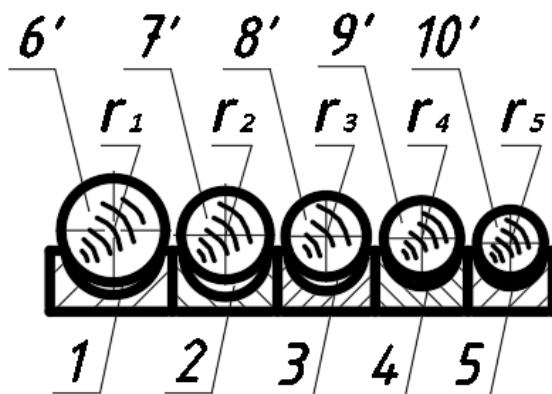


Рисунок 2 – Схема расположения шаров в соседних желобах

Радиусы r_1, r_2, r_3, r_4 и r_5 желобов 1, 2, 3, 4 и 5 соответственно (рис. 2) от начала к концу барабана мельницы уменьшаются пропорционально радиусам мелющих тел 6, 7, 8, 9 и 10, соответственно.

Расстояние между выступами 10 на зубчатом желобе (сечение Б-Б) кратно радиусу желоба, т.е. $I = r \times n$ (n - целое число, равное 1, 2, 3, 4 ...), а следовательно, кратно диаметру шара: $I = n \times d$, так как радиус желоба кратен диаметру шара. Между выступами 10 в зубчатом желобе должно поместиться целое число шаров (сечение Б-Б). Расстояние I между соседними желобами (сечение Б-Б) назначается таким, чтобы шары, расположенные в соседних желобах, соприкасались между собой.

Классификация мелющих тел в мельнице осуществляется следующим образом. В барабан 1 (рис. 1) мельницы загружаются

мельющие тела 6—10 (рис. 2) различного диаметра. При вращении шары, имеющие больший диаметр, располагаются в желобах, имеющих большой радиус, а шары меньшего диаметра - желобах, имеющих меньший радиус.

Например, шар 6 (рис. 2), имеющий максимальный диаметр, ляжет в желоб 1, шар 7 - в желоб 2, шар 8 - в желоб 3, шар 9 - в желоб 4 и т.д. Шар 10, имеющий меньший диаметр не сможет находиться в желобе 1 большего радиуса, чем радиус шара 10, так как он вытесняется шаром 6, который имеет большую массу. И, наоборот, шар 6 большего размера (диаметра) не поместится в желобе 5, радиус которого меньше радиуса шара 6, в желобе 5 разместится шар, радиус которого соответствует радиусу шара 10.

Следовательно, желобчато-зубчатая футеровка с убывающим пропорционально размеру мельющих тел (шаров) радиусом канавки, обеспечивает достаточно четкую классификацию мельющих тел вдоль оси мельницы по их размерам.

Расположенные в соседних желобах 1-5 (рис. 2) мельющие тела 6-9 соприкасаются, т.е. соседние слои, состоящие из одного ряда мельющих тел, соприкасаются по боковым поверхностям. При этом мельющие тела, расположенные на гладких желобчатых кольцах 4, 6 и 8 (рис. 1), работают в каскадном режиме, поднимаются на меньшую высоту (сечение А-А) вследствие минимального сцепления между шарами и футеровкой. Мельющие тела, расположенные в зубчатых желобах 5, 7 и 9 поднимаются на большую высоту (сечение Б-Б), работают в водопадном режиме. В результате на гладких кольцевых желобчатых участках 4, 6 и 8 происходит интенсивное измельчение материала истиранием, а на соседних 5, 7 и 9, снабженных выступами 10, осуществляется ударное измельчение. Поскольку каждый слой соседних шаров поднимается на различную высоту (сечение А-А и Б-Б), происходит дополнительное интенсивное измельчение материала истиранием между каждым соседним слоем шаров.

Если все желоба выполнены гладкими либо зубчатыми, мельющие тела по всей длине барабана мельницы поднимаются на равную высоту, трение в слоях между шарами отсутствует, эффективность процесса измельчения снижается.

Расстояние l (сечение Б-Б) между выступами 10 должно быть кратно радиусу желоба, а так как последний кратен радиусу шара, то расстояние l между выступами 10 кратно радиусу шара. При соблюдении данного условия между выступами 10 помещается целое число шаров, что повышает коэффициент сцепления шаров с

футеровкой и обеспечивает максимальный угол их подъема. Если расстояние l не будет кратно радиусу желоба, то между выступами 10 шары будут располагаться с достаточно большим зазором, что снижает значения коэффициента их сцепления с футеровкой и уменьшает высоту подъема шаров. Это снижает не только эффективность ударного измельчения в области зубчатых желобов, но и интенсивность измельчения трением между соседними слоями шаров.

Если радиус желобов имеет равную величину на всем протяжении барабана мельницы, классификация мелющих тел по их размерам вдоль барабана мельницы отсутствует. В желоба лягут шары равного диаметра по всей длине барабана мельницы, т.е. диаметры периферийных слоев шаров у начала и у конца барабана мельницы будут равны. Это нарушает эффективность процесса измельчения, так как большие и малые зерна измельчаемого материала будут измельчаться шарами, имеющими одинаковый размер, а следовательно и одинаковую массу. Таким образом, использование предложенной конструкции футеровки интенсифицирует процесс измельчения, тонкость помола материала - клинкера - возрастает на 10-20%, что равнозначно повышению производительности мельницы при заданной тонкости помола на 7-15%.

Список литературы:

1. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц. М.: Машиностроение, 1965. 515 с.
2. Несмеянов Н.П. Моделирование и интенсификация энергетического воздействия мелющей загрузки в цементных мельницах: дис. канд. техн. наук. Москва, 1994.
3. Несмеянов Н.П., Круговой Д.Г. Разработка и исследование сортирующей футеровки // Материалы межвузовского сборника статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. С. 77-79.

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХВАЛЬНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

**Пешков О.Г., магистрант,
Лозовая С. Ю., д-р. техн. наук, проф.,
Анциферов С.И., инженер,
Рядинская Л.В., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Строительная индустрия занимает одно из лидирующих мест среди основных отраслей Российской Федерации. Развитие этой сферы дает возможность к расширению рынка изделий, применяемых при строительстве зданий и сооружений. Так, одним из наиболее востребованных изделий является керамический кирпич, применяемый при облицовке зданий. Выбор кирпича определяет главным образом его качество, которое зависит как от технологии, так и от оборудования, применяемого при его производстве.

Развитие России напрямую зависит от ряда отраслей, важное место среди которых занимает строительство, ведь одним из критериев высокого уровня жизни является комфортные условия проживания. Развитие этой отрасли дает возможность увеличению объема строительства жилых, муниципальных, промышленных зданий и сооружений с использованием огромного ассортимента изделий, выдерживающие любые погодные условия в зависимости от географического положения, что немислимо без промышленных комплексов, которые оснащают дорогостоящим и сложным оборудованием.

Основным смесительным оборудованием для получения керамической массы с и модифицирующими добавками является двухвальнй смеситель. Существует огромный ассортимент смесителей различной конструкции, производительности, режима смешивания с возможными приспособлениями для очищения, увлажнения, прессования глиняных масс. Все это влияет на качество кирпича и дает возможность производителю выпускать широкий ассортимент изделий, отвечающий требованию заказчика.

Все двухвальные смесители непрерывного действия (рис. 1) имеют как правило корытообразный корпус с расположенными в нем соосно двумя валами, на которых лопасти закреплены под углом к оси вала. Во время вращения валов навстречу друг другу компоненты смешиваются

и перемещаются к разгрузочному отверстию. В процессе перемешивания масса подвергается пароувлажнению.

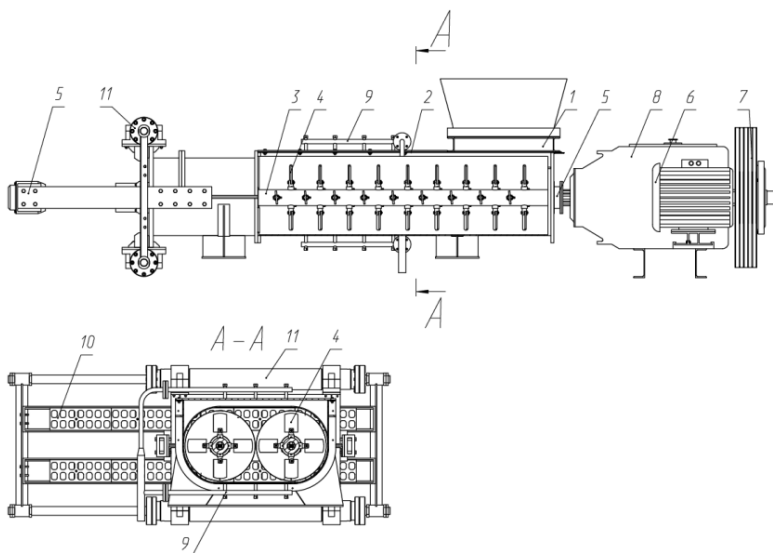


Рисунок 1. Конструкция двухвального смесителя.

1-загрузочное отверстие; 2-корпус; 3-вал; 4-лопатка; 5-подшипники; 6- электродвигатель; 7-клиноременная передача; 8- редуктор, 9- система подачи пара, 10- сита; 11 – гидроцилиндр.

Главным направлением совершенствования подобного оборудования является изменение конструкция рабочих органов, интенсифицирующих процесс смешивания, что повлияет на качество смеси и готового продукта.

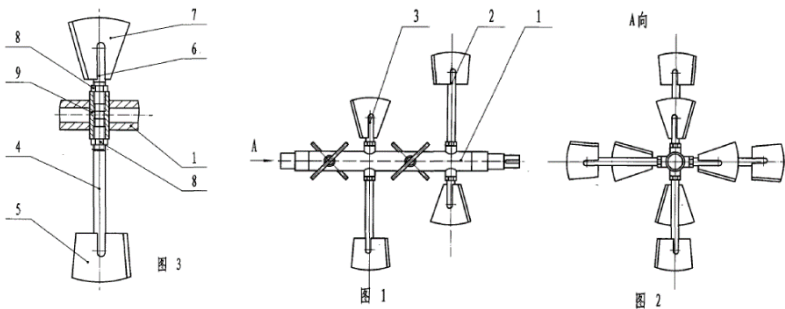
Было предложено (рис. 2) в зависимости от вязкости компонентов располагать оси лопастей под различным углом (90° , 60° , 30°) по отношению к оси вала. и на разной длине оси для устранения застойных зон (рис. 2) [1].

На горизонтальный вал смесителя 1 крепится втулка 9 (рис. 2 а). На втулку 9 при помощи гаек 8 крепятся длинная 4 и короткая 6 оси, некоторых жестко насажены левая 5 и правая 7 лопатки.

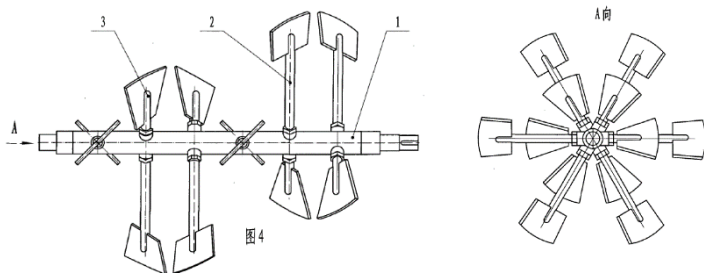
Оси 5 и 7 имеют разную длину, позволяя перемешивать компоненты смеси на разных уровнях, улучшая качество материала и сокращая время перемешивания. Такую компоновку лопастей можно применить для смешивания высоковязких материалов. В зависимости от

степени вязкости возможны различные варианты крепления лопастей с различным углом между осями.

а)

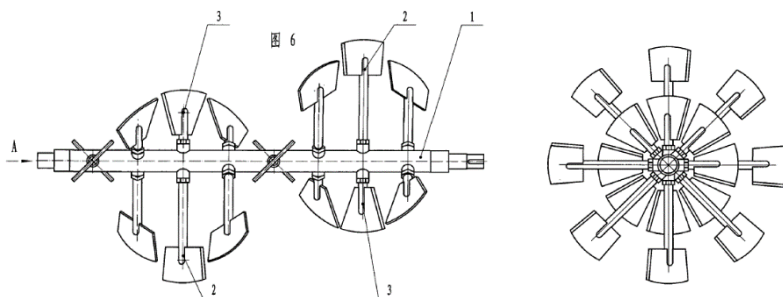


б)



в)

Рисунок 2 – Крепление лопаток.



1-вал; 2,4-ось большая; 3,6-ось малая; 5-лопасть большая; 7-лопасть малая;
8-гайка; 9-втулка.

Также можно на горизонтальный вал смесителя вместо обычных лопастей крепят ножи-лопатки втулкой 1, на которой приварены под углом 180° закругленные ножи 2.(рис.3).

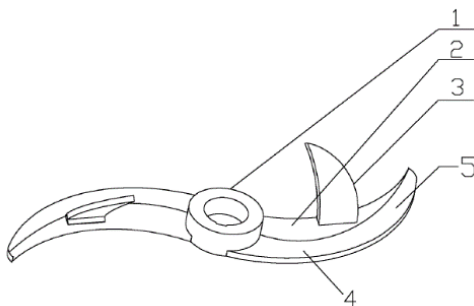


Рисунок 3. Рабочий орган лопастного смесителя.

1-втулка; 2-нож, 3- горизонтальная лопатка; 5- Передняя поверхность ножа

На ножах под некоторым углом к плоскости ножа крепятся небольшие лопатки 3. В процессе перемешивания площадь соприкосновения рабочего органа и материала увеличивается за счет снабжения ножа горизонтальной лопаткой, снижая затраты на производство и увеличивая эффективность перемешивания сыпучих компонентов.

Для перемешивания многокомпонентных смесей низкой влажности можно использовать смесительную установку, содержащую корпус 1, внутри которого расположен полый вал 2, имеющий привод 3 (рис. 4). На валу 2 радиально по винтовой линии жестко установлены втулки 4, в которых расположены оси 5, имеющие винтовые канавки 6. Длина канавки по дуге окружности u диаметрально противоположно расположенных в ряду рабочих органов лопаток различная (равна $\pi/2$ и π), и оси лопаток в соседних рядах имеют противоположное направление винтовых канавок, т.е. оси диаметрально противоположных лопаток имеют одинаковое направление. Втулки 4 снабжены уплотнительными устройствами 7. К осям 5 жестко закреплены лопатки 8. Втулки имеют штифты 9, взаимодействующие с винтовыми канавками осей 5.

Для изменения угла поворота лопаток служит механизм, выполненный в виде установленных в полости вала 2 полукруглых штанг 10 и 14, соприкасающихся друг с другом по плоскости, проходящей через ось вращения вала, с упорами 11 и 15, размещенными

по линиям, эквидистантным линиям установки втулок 4, и взаимодействующими с торцами осей лопаток. Торцы осей рекомендуется выполнять коническими, чтобы обеспечить осевую нагрузку при перемещении оси 5 и минимизировать при этом затраты энергии на перемещение за счет точечного контакта оси 5 и упоров 11 и 15 (рис. 4).

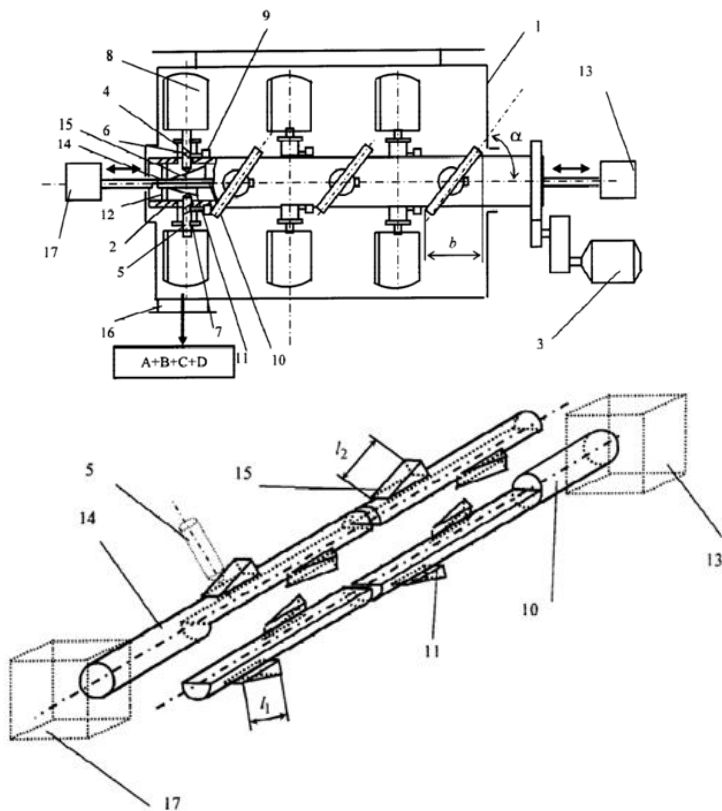


Рисунок 4. Вид ротора с устройством поворота лопастей. 1-корпус; 2-вал; 3-привод; 4-ось; 6-канавка; 7-уплотнение; 8-лопасть; 9-штифт; 10, 14-штанга; 11, 15-упор; 12-уплотнение; 13, 17-реверсивный механизм; 16-патрубок.

Упоры 11 и 15 выполняются коническими, а их длина (l_1 и l_2 соответственно) зависит от длины винтовых канавок хода осей 5

лопаток 8. Штанги 10 и 14 установлены в направляющих втулках 12 с возможностью возвратно-поступательного перемещения.

Наружные концы штанг 10 и 14 соединены с реверсивными исполнительными механизмами 13 и 17, которые обеспечивают независимое перемещение штанг и соответственно различный поворот лопаток, расположенных в одном ряду рабочих органов. Лопатки 8 на периферии выполнены скругленными. Таким образом, механизм изменения угла поворота лопаток относительно оси вращения вала состоит из двух независимых частей. Одна часть состоит из штанги 10, представляющей собой в профиле полуокружность с расположенными на ней упорами 11, и имеющей реверсивный исполнительный механизм 13. Вторая часть состоит из штанги 14, представляющей собой в профиле также полуокружность с расположенными на ней упорами 15 и имеющей реверсивный исполнительный механизм 17.

Технической задачей изобретения является повышение качества смеси, сокращение общего времени смешивания и затрат энергии, путем равномерной загрузки компонентов и распределению по всей длине смесителя

Таким образом, варьируя длину осей лопастей, углы их расположения относительно друг друга, а, так же, углы поворота самих лопастей относительно оси вала можно смешивать компоненты смеси с различной степенью влажности, что позволит расширить область применения смесителя.

Список литературы:

1. Патент № 201337889У. CN. Устройство для смешивания порошковообразных компонентов./ Willow Yong cherishes. 200920000689.2; заяв. 13.06.09., опуб. 04.11.09
2. Патент № 202263558U. CN. Устройство для смешивания порошковообразных компонентов/ Ненг Fangxing. 201120403740.1; заяв. 21.10.11., опуб. 12.06.12.
3. Патент № 2 398 622. RU. Способ приготовления смеси сыпучих материалов и установка для его осуществления/ Першин Владимир Федорович, Дёмин Олег Владимирович, Комарова Ирина Александровна. заяв. 11.01.2009, Опубликовано: 10.09.2010 Бюл. № 25
4. Богданов В.С., Несмеянов Н.П., Горшков П.С., Доможирова О.В., Матусов М.Г., Бражник Ю.В., «Evaluation of the energy parameters of the high-speed spiral blade mixer for dry materials» //international journal of applied engineering research. №5. 12407-12418 сс.
5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., «Разработка роторного смесителя с высокоскоростным режимом смешивания для производства

модифицированных строительных смесей» // Сб. докл. Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород. 2013(Умник, тур 1,2).

К РАСЧЕТУ МОЩНОСТИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Романович М.А., Мясников А.В., магистры
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

Введение. В результате анализа литературных источников установлено, что измельчаемый в ПВИ материал после обработки его давлением между вальками значительно отличается от исходного, он имеет форму в виде спрессованных пластин, а его частицы - микродефектную структуру, что требует особых условий для их помола в ШМ.

Основная часть. Как показали проведенные исследования, установка лопастных энергообменных устройств в виде лопасти двухстороннего действия ЛДД и лопастного эллипсного сегмента в барабане шаровой мельницы позволяет интенсифицировать движение мелющей загрузки. Однако в зависимости от угла поворота барабана мельницы периодически меняется уровень загрузки в первой камере, а в зоне активного влияния ЛЭУ – происходит "зачерпывание" части мелющих тел вместе с измельчаемым материалом, подъем их на высоту и придание им продольно-поперечного движения, отличающегося от создаваемого в мельницах без ЛЭУ (рис. 1).

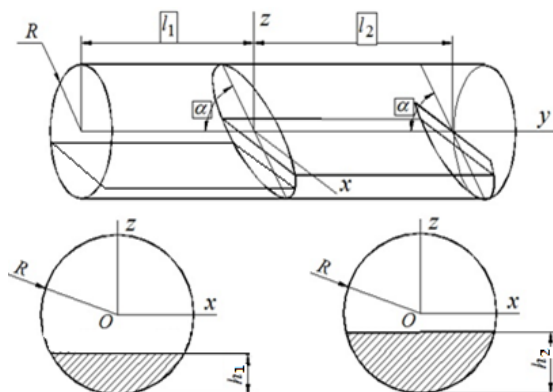


Рисунок 1 – Схема установки ЛЭУ в барабане шаровой мельницы

При этом совершается дополнительная работа, на которую расходуется дополнительная мощность двигателя, а отсутствие научно-обоснованной методики расчета её величины для мельниц оснащенных ЛЭУ тормозит их внедрение в промышленность. Дополнительно потребляемая мельницей мощность связана (по сравнению с мельницами с вертикальными перегородками) с перемещением центра масс мелющей загрузки вдоль оси барабана мельницы за счет влияния на мелющую загрузку в продольном направлении ЛДД и ЛЭС.

Мощность N за некоторый промежуток времени T вычисляется по формуле:

$$N = \frac{A}{T}, \quad (1)$$

где A – работа, выполненная за тот же промежуток времени T .

За промежуток времени T , возьмем время одного оборота барабана мельницы, если мельница совершает n оборотов в минуту, то один оборот осуществляется за время равное,

$$T = \frac{1}{n} \text{ мин.}, \quad (2)$$

$$\text{или} \quad T = \frac{60}{n} \text{ сек.}, \quad (3)$$

$$\text{Поскольку} \quad n = \psi n_{\text{кр}}, \quad (4)$$

где ψ – относительная частота вращения, $n_{\text{кр}}$ – критическая частота вращения.

$$\text{Так как} \quad n_{\text{кр}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (5)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, R – радиус барабана мельницы, то формулу (3) можно записать в следующем виде

$$T = \frac{2\pi\sqrt{R}}{\psi\sqrt{g}} \text{ сек.}, \quad (6)$$

За один оборот барабана мельницы центр масс мелющей загрузки в каждой камере переместится из одного крайнего положения в другое и обратно. Для первой камеры перемещение центра масс загрузки за один оборот барабана мельницы определяется по формуле:

$$S_1 = 2|y_c - y'_c|, \quad (7)$$

Согласно [6] y_c и y'_c вычисляются, соответственно, по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_c \tilde{V}_1 = & -\frac{\lambda_1^2}{2} \left(\chi_1 \sqrt{1-\chi_1^2} + \arcsin \chi_1 - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{2\lambda_1 \text{ctg} \alpha}{3} (1-\chi_1^2)^{\frac{3}{2}} + \\ & + \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left(\chi_1 (1-2\chi_1^2) \sqrt{1-\chi_1^2} - \arcsin \chi_1 + \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{y}'_c \tilde{V}'_1 = & -\frac{\lambda_1^2}{2} \left(\chi'_1 \sqrt{1-\chi'^2_1} + \arcsin \chi'_1 - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{2\lambda_1 \text{ctg} \alpha}{3} (1-\chi'^2_1)^{\frac{3}{2}} + \\ & + \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left(\chi'_1 (1-2\chi'^2_1) \sqrt{1-\chi'^2_1} - \arcsin \chi'_1 + \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned}$$

Перемещение центра масс загрузки за один оборот барабана мельницы во второй камере определяется по формуле:

$$S_2 = 2|y_{c2} - y'_{c2}|, \quad (8)$$

Вычисление y_{c2} и y'_{c2} согласно (4) производим по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{c2} \tilde{V}_2 = & \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left(\chi_2 (2\chi_2^2 - 1) \sqrt{1-\chi_2^2} + \arcsin \chi_2 - \frac{\pi}{2} \right) - \\ & - \frac{\lambda_2^2}{2} \left(\chi_2 \sqrt{1-\chi_2^2} + \arcsin \chi_2 - \frac{\pi}{2} \right) \\ \tilde{y}'_{c2} \tilde{V}'_2 = & \frac{\lambda_2^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \chi'_2 - \chi'_2 \sqrt{1-\chi'^2_2} \right) + \frac{2l_2 \text{ctg} \alpha}{3} \sqrt{(1-\chi'^2_2)^3}, \end{aligned}$$

Поскольку работу совершает сила трения, то:

$$A = |F_{\text{тр}} S| = F_{\text{тр}1} S_1 + F_{\text{тр}2} S_2, \quad (9)$$

В свою очередь, $F_{\text{тр}1} = f G_1 = f M_1 g = f g \gamma V_{1\text{зарп}} = f g \gamma \varphi_1 V_1$, (10)

где f – коэффициент трения скольжения мелющей загрузки по корпусу барабана мельницы; G_1 – вес мелющей загрузки в первой камере; M_1 – масса мелющей загрузки в первой камере; γ – объемная масса мелющей загрузки; $V_{1\text{зарп}}$ – объем мелющей загрузки в первой камере; φ_1 – коэффициент загрузки мелющими телами первой камеры; V_1 – объем первой камеры.

Аналогичная формула имеет место и для второй камеры:

$$F_{\text{тр2}} = f G_2 = f M_2 g = f g \gamma V_{2\text{загр}} = f g \gamma \varphi_2 V_2, \quad (11)$$

Заключение. Таким образом, полученные аналитическим путем уравнения (10) и (11) позволяют рассчитать величину дополнительно потребляемой мощности мельницей, оснащенной ЛЭУ, с достаточной точностью отражают реальный процесс, и как видно из графических зависимостей обеспечивают высокую сходимость результатов. Результаты исследований расчета мощности шаровой мельницы внедрены в малых инновационных предприятиях на базе БГТУ им. В. Г. Шухова: ООО «Центр энергосберегающих технологий и комплексов», ООО «Композит» и др., с участием молодых ученых [8,9].

Список литературы:

1. Башкирцев А.А. Анализ эффективности машин для тонкого измельчения строительных материалов / А.А. Башкирцев // сб. науч. тр. МАДИ. 1986.
2. Романович А.А. Исследование влияния скорости вращения валков на выходные показатели процесса измельчения и разработка рекомендаций по повышению износостойкости их рабочих поверхностей / Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 71-73.
3. Романович А.А. Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 69-71.
4. Богданов В.С., Воронов В.П., Потапов Ф.П. Расчет величины работы затрачиваемой на разрушение материала при каскадном режиме работы шаровой мельницы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 61-64.
5. Романович А.А. Определение центра масс шаровой загрузки первой камеры мельницы, оснащенной лопастными энергообменными устройствами / Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2013. Т. 2 . №51. С. 166-171.
6. Romanovich A.A. Performance review and principal directions for development of a grinding equipment in cement factory // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. 9(11): 2367-2370.
7. Пресс-валковый измельчитель / В.С. Севостьянов, А.А. Романович, В.С. Платонов, В.П. Козка. Патент на изобретение № RUS 2030213.
8. Romanovich L.G., Evtushenko E.I., Romanovich M.A., and D.V. Kudinov. Innovation activity and business incubators based on institution of higher education. the experience of Russia // Journal of Applied Engineering Science. 2015. Vol. 13(3): pp. 161-166.

9. Romanovich A.A., Bogdanov V.S., Romanovich L.G., Romanischin D.V. Determination of power mill spent on the creation of the longitudinal motion of the grinding load // Journal of Applied Engineering Science. 2015. Vol. 13 (3): pp. 155-160.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СХЕМЕ УСТАНОВКИ ЭНЕРГООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ

Романович М. А., Мясников А.В., магистры
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Введение. В производстве вяжущих материалов, различных строительных смесей и изделий одними из наиболее энергоёмких являются процессы дробления и помола исходного сырья на которые расходуется около 10% всей мировой электроэнергии. При этом расход электроэнергии значительно возрастает с увеличением дисперсности полученного продукта.

При производстве цемента ежегодный объем, которого в мире все возрастает и в настоящее время превышает 2,5 миллиарда тонн, на процессы помола сырьевых и цементных материалов, осуществляемые главным образом в шаровых мельницах, затрачивается от 40 до 70% от всей электроэнергии процесса [1,2].

Вопросами разработки нового и повышения эффективности существующего помольного оборудования занимались ученые и практики как у нас в стране, так и за рубежом. Ими разработана энергосберегающая технология получения цемента в помольном комплексе, состоящем из двух агрегатов пресс-валкового измельчителя и шаровой мельницы (ПВИ-ШМ) [3-5].

Основная часть. В результате проведенных исследований установлено, что измельчаемый в ПВИ материал после обработки его давлением между валками значительно отличается от исходного, он имеет форму в виде спрессованных пластин, а его частицы - микродефектную структуру, что требует особых условий для их помола в ШМ (рис.1, 2).

Как показали исследования, предварительно измельчаемый в ПВИ материал целесообразно подвергать кратковременному ударному воздействию в первой камере мельницы для дезагломерации спрессованной ленты и раздавливающее-стирающему воздействию мелющей загрузки во второй камере для окончательного его помола. [6,7].

Такие условия измельчения материалов можно получить в шаровой мельнице, оснащенной лопастными энергообменными устройствами

(ЛЭУ): лопастью двухстороннего действия (ЛДД) и лопастным эллипсным сегментом (ЛЭС).

Рисунок 1. Исходный материал – клинкер



Рисунок 2 Клинкер после измельчения в ПВИ



С целью определения режимов работы мелющей загрузки при различных схемах установки ЛЭУ, исследования проводились на модели шаровой мельницы с прозрачным корпусом размером $\varnothing 0,1 \times 0,5$ м. (рис. 3 а-з).

В результате исследований установлено, что на характер динамического воздействия мелющих тел в ШМ существенное влияние оказывает взаимное расположение ЛЭУ как в продольном, так и в поперечном сечении корпуса мельницы.

Так, в результате использования схемы установки лопастных энергообменных устройств, когда ЛЭС установлен у разгрузочного конца барабана мельницы наклоненным к днищу ли его большая ось совпадает с большей осью ЛДД (рис. 3-а) происходит их одновременное воздействие, с промежутком через 360° на мелющую загрузку. Это приводит к сосредоточению мелющих тел в середине второй камеры, что отрицательно скажется на эффективности процесса помола.

При повороте ЛЭС относительно ЛДД на угол 180° (смещение их больших осей составляет угол 180°) приводит к поочередному воздействию ЛЭУ на мелющую загрузку, что приводит к их большей подвижности, перемещению и сосредоточению то у ЛДД, то у ЛЭС (рис.3-б). Такая схема установки ЛЭУ должна способствовать интенсивности процесса помола предварительно измельченных материалов во второй камере мельницы.

Однако, установка ЛЭС, наклоненным к разгрузочному днищу, приводит к захвату им цельбеписной загрузки и поднятию ее на

большую высоту, что приводит ее к частичному водопадному режиму работы, что снизит эффективность её работы во второй камере. Изменение угла наклона ЛЭС на противоположный, установив его под наклоном от разгрузочного днища (рис. 3 в), приводит к исчезновению «водопадного эффекта» во второй камере мельницы, так как такое расположение ЛЭС не поднимает мелющую среду, а лишь усиливает свое воздействие на нее в продольном направлении, что позитивно сказывается на помоле материала

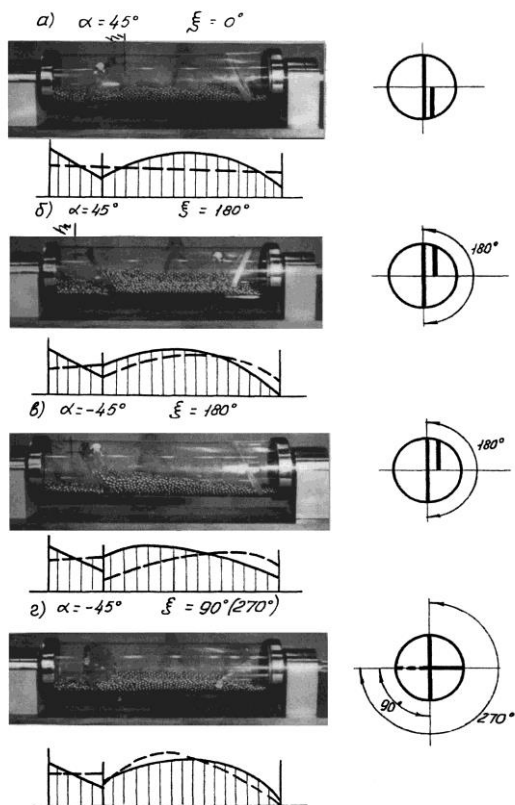


Рисунок 3 – Схемы установки ЛЭУ в ТШМ и эпюры движения мелющих тел

Установка лопасти двойного действия обеспечит ударно-стирающее воздействие мелющей загрузки на измельчаемый материал в первой камере мельницы. Управление величиной импульса от ЛДД кроме угла ее наклона позволяет обеспечивать наличие горизонтальных участков перегородки. Результаты исследований движения мелющих тел при различной схеме установки энергообменных устройств внедрены в малых инновационных предприятиях на базе БГТУ им. В.Г. Шухова: ООО «Центр энергосберегающих технологий и комплексов», ООО «Композит» и др., с участием молодых ученых [8,9].

Заключение. Таким образом, проведенные нами исследования характера движения мелющих тел в ШМ, оснащенной ЛЭУ, показали, что режим работы мелющей загрузки во многом зависит от схемы установки и взаимного расположения ЛДД и ЛЭС. Рациональной схемой установки ЛЭУ в барабане мельница при помоле материалов предварительно измельченных в ПВИ является схема (рис. 3 в) при которой в первой камере мельницы, осуществляется ударно-стирающее воздействие мелющих тел, а во второй раздавливающее-стирающее воздействие.

Список литературы:

1. Башкирцев А.А. Анализ эффективности машин для тонкого измельчения строительных материалов / А.А. Башкирцев // сб. науч. тр. МАДИ. 1986.
2. Романович А.А. Исследование процесса предуплотнения анизотропных материалов в пресс-валковом измельчителе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 56-60.
3. Романович А.А. Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 69-71.
4. Богданов В.С., Воронов В.П., Потапов Ф.П. Расчет величины работы затрачиваемой на разрушение материала при каскадном режиме работы шаровой мельницы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 61-64.
5. Романович А.А. Определение центра масс шаровой загрузки первой камеры мельницы, оснащенной лопастными энергообменными устройствами / Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2013. Т. 2. №51. С. 166-171.
6. Romanovich A.A. Performance review and principal directions for development of a grinding equipment in cement factory // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. 9(11): 2367-2370.

7. Пресс-валковый измельчитель / В.С. Севостьянов, А.А. Романович, В.С. Платонов, В.П. Козка. Патент на изобретение № RUS 2030213.
8. Romanovich L.G., Evtushenko E.I., Romanovich M.A., and D.V. Kudinov. Innovation activity and business incubators based on institution of higher education. the experience of Russia // Journal of Applied Engineering Science. 2015. Vol. 13(3): pp. 161-166.
9. Romanovich A.A., Bogdanov V.S., Romanovich L.G., Romanischin D.V. Determination of power mill spent on the creation of the longitudinal motion of the grinding load // Journal of Applied Engineering Science. 2015. Vol. 13 (3): pp. 155-160.

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Севостьянов В.С., д-р техн. наук, проф.,
Семерикова Е.Н., магистрант,
Якимец Н.А., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Древесно-полимерный композитный (ДПК) – относительно новая, но отлично зарекомендовавшая себя разработка в области строительных материалов. ДПК сочетает в себе лучшие стороны древесины и пластика и, при этом, практически не имеет их недостатков. Исследования в области древесно-полимерных композитов велись многие десятилетия, но только сравнительно недавно были разработаны технологии и составы, позволяющие производить изделия из ДПК в промышленных масштабах [1,2].

Для получения изделий из древесно-полимерных композитов используют традиционные методы переработки термопластичных полимеров.

В настоящее время экструзия является наиболее распространенным технологическим процессом изготовления изделий из древесно-полимерных композиционных материалов с термопластичной полимерной матрицей. За рубежом более двухсот компаний используют эту технологию для производства тонких и толстых листов, панелей, профильных и трубчатых элементов. Экструзия изделий из ДПК осуществляется на экструзионных линиях (см. рис. 1 [3]), сходных с теми, которые используются при экструзии обычных пластмасс, например, в производстве окон из ПВХ.

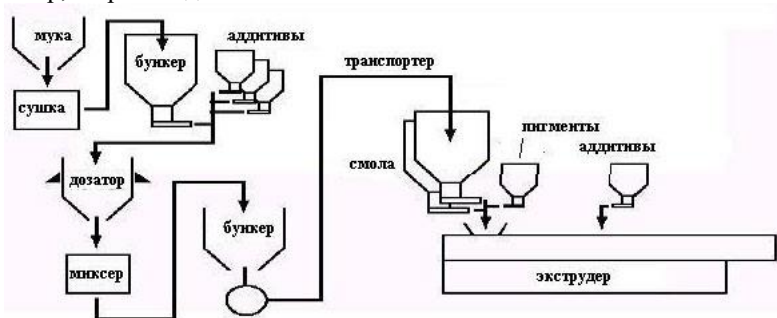


Рисунок 1 – Схема прямой экструзии древесно-полимерных композитов

Но оборудование для экструзии древесно-полимерных композитов имеет и некоторые существенные отличия. Одна из основных трудностей в экструзии высоконаполненных композиционных материалов – необходимость тщательного компаундирования высоковязких, малотекучих, разнородных и не очень стабильных по физическим и химическим свойствам компонентов композита. Сложности имеются в дозировании и подаче древесной муки, которая не вполне однородна, имеет низкую насыпную плотность и большой коэффициент внутреннего трения. Конструкция экструдера и формующего инструмента для переработки ДПК должна также иметь хорошую устойчивость к абразивному износу. Готовые изделия из ДПК обычно имеют довольно большую толщину и массу, превышающие аналогичные параметры для изделий из обычных полимерных материалов, что усложняет их охлаждение после выхода из экструдера. [4].

Прессование – старейший метод переработки высоконаполненных полимерных материалов, но он широко применяется и в настоящее время, в том числе и для получения изделий из ДПК.

Прессование – это технологический процесс изготовления изделий из полимерных материалов, заключающийся в пластической деформации материалов при действии на них давления и последующей фиксации формы изделия. Основной формующий инструмент – пресс-форма, давление в которой создается прессом (см. рис. 2).

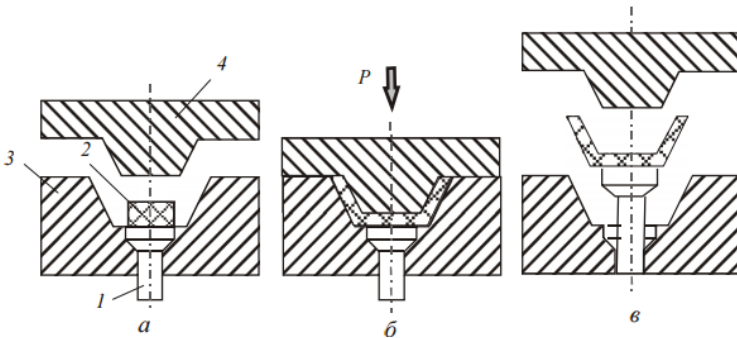


Рисунок 2. Схема компрессионного прессования реактопластов: а – загрузка пресс-материала; б – смыкание пресс-формы и прессование; в – раскрытие пресс-формы и извлечение изделия; 1 – выталкиватель; 2 – пресс-материал; 3 – пуансон; 4 – матрица

Если формуемый материал способен к пластической деформации без нагревания, то процесс ведется в холодной форме и носит название холодное прессование. В этом случае основным фактором образования прочного изделия являются силы электростатического притяжения, которые вступают в действие при сближении отдельных частиц на расстоянии 10^{-8} см. Формование в нагретой форме, т.е. горячее прессование, применяется, когда нагрев необходим для снижения вязкости материала перед подачей давления и когда фиксация формы изделия осуществляется:

- либо за счет реакции отверждения полимерной матрицы, протекающей при повышенной температуре (прессование реактопластов);

- либо при охлаждении отформованного изделия под давлением в форме, например, при прессовании термопластичных материалов с низкой текучестью.

Горячее прессование в зависимости от конструкции пресс-форм проводится методами компрессионного (прямого) или литьевого (трансферного) прессования. Метод прессования широко применяется при переработке реактопластов, резиновых смесей и при переработке высоковязких или высоконаполненных полимерных композиций на основе термопластов, в частности при изготовлении изделий из ДПК.

Литье под давлением – это процесс формования изделий из полимерных материалов, когда расплав под значительным внешним давлением заполняет закрытую форму и извлекается из нее в виде твердой детали (см. рис. 3 [5]).

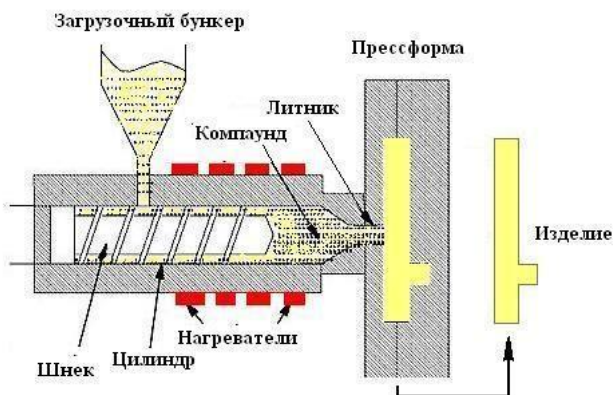


Рисунок 3 – Схема литья под давлением

При литье термопластов расплав в форме охлаждается. Основное применение метод литья под давлением находит для переработки термопластов.

В настоящее время в высокоиндустриальных странах выпускается чрезвычайно широкая номенклатура литьевых машин (термопластавтоматов) для производства изделий из термопластов с массой от десятых долей грамма и до 100 кг.

Основными направлениями развития литья под давлением полимерных материалов являются:

- разработка технологических разновидностей метода;
- совершенствование системы управления процессами в рабочих органах литьевого оборудования;
- полная автоматизация управления технологическим процессом литья, от подготовки сырья и до съема деталей, с применением управляющих вычислительных машин и робототехники;
- внедрение комплексно-механизированных производств на основе роторно-конвейерных линий, обеспечивающих одновременную переработку до нескольких типов термопластов;
- совершенствование дизайна машин и конструкции рабочих органов оборудования;
- улучшение технологических свойств литьевых материалов и расширение номенклатуры перерабатываемых термопластов;
- совершенствование технологии переработки конструкционных термопластов от подготовительной операции (сушки) до финишной (термообработки); – улучшение качества продукции;
- интенсификация процесса, которая заключается не только в повышении производительности оборудования, но и в расширении его технологических возможностей (имеется в виду формование изделий различной массы, более сложной конструкции и уменьшение энергозатрат).

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о большом распространении метода экструзии для изготовления изделий из древесно-полимерных композиционных материалов с термопластичной полимерной матрицей.

Список литературы:

1. Техника и технологии для экструдирования и сушки техногенных материалов / С.Н. Глаголев, В.С. Севостьянов, А.М. Гридчин, П.А.

- Трубаев, М.В. Севостьянов, В.И. Филатов, А.В. Кощуков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С.118 – 123.
2. Производство древесно-полимерных композиционных материалов экструзионным методом / М.К. Герасимов, Г.И. Игнатьев, Р.Р. Мухаметзянов, И.М. Галиев, В.В. Степанов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №3. С.106 – 107.
 3. Семерикова Е.Н., Гиенко Е.А., Севостьянов В.С. Древесно-полимерные композиты и технологии производства // Энерго-и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: мат-лы Междунар. научно-технической конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С.287 – 291.
 4. Глухих В.В., Мухин Н.М., Шкуро А.Е., Бурындин В.Г. Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами: Екатеринбург: Изд-во «Учебно-методический центр УПИ». 2014. с. 85 С.
 5. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.dpk-deck.ru> (Дата обращения 21.09.2016 г.)

ДЕЗИНТЕГРАТОР С ИСТИРАЮЩИМИ НАГРУЗКАМИ НА ИЗМЕЛЬЧАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.,

Пугин А.И., аспирант,

Беляев Д.А., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Дезинтеграторы являются одним из наиболее эффективных видов оборудования для помола, смешения и активации малоабразивных материалов твердостью по шкале Мооса до 7 единиц [2].

Одним из недостатков дезинтеграторов является незначительное количество соударений частиц материала и недостаточные истирающие нагрузки на измельчаемый материал в периферийной части камеры помола, что снижает эффективность их работы.

В данной статье предлагается описание камеры помола дезинтегратора (рисунок 1), в которой предполагается увеличение количества соударений частиц и повышение истирающих нагрузок на измельчаемый материал.

Дезинтегратор состоит из цилиндрического корпуса 1, в боковой части которого установлен разгрузочный патрубок 2. В центре на верхней части цилиндрического корпуса 1 установлен осевой загрузочный патрубок 3 с возможностью вращения. К нижнему торцу осевого загрузочного патрубка 3 жестко закреплен верхний 4 горизонтальный диск, который содержит ударные элементы 5 и 6, расположенные по его концентрическим окружностям.

В нижней части цилиндрического корпуса 1 установлен нижний 7 горизонтальный диск с возможностью вращения. Нижний 7 горизонтальный диск, как и верхний 4 горизонтальный диск, содержит ударные элементы 8, расположенные по концентрическим окружностям, причем ударные элементы 6 верхнего 4 горизонтального диска находятся между ударными элементами 8 нижнего 7 горизонтального диска. Рабочая поверхность ударных элементов 5, 6 и 8 выполнена традиционно плоской.

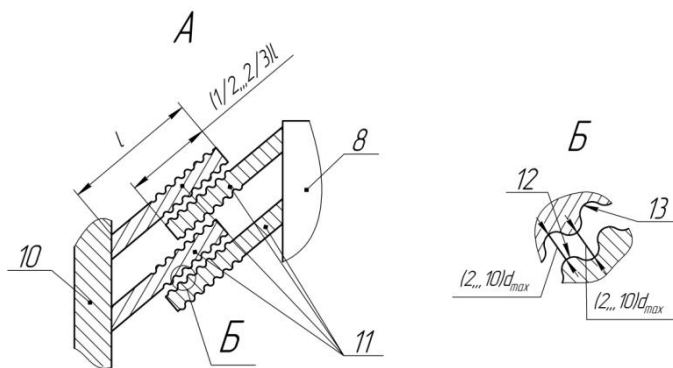
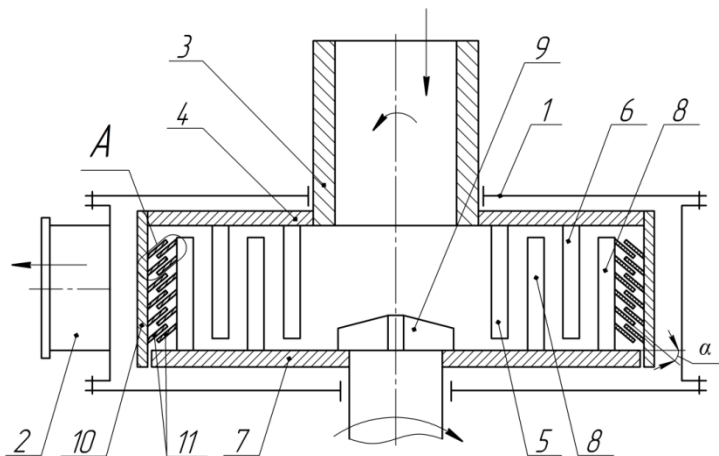


Рисунок 1 – Камера помола дезинтегратора:
 1 – корпус; 2 – разгрузочный патрубок; 3 – загрузочный патрубок;
 4 – верхний горизонтальный диск; 5, 6, 8 – ударные элементы;
 7 – нижний горизонтальный диск; 9 – горизонтальный диск с лопатками;
 10 – вертикальные опоры; 11 – конические кольца;
 12 – выступы; 13 – канавки

На нижнем 7 горизонтальном диске жестко закреплен горизонтальный 9 диск с вертикальными лопатками для равномерного ускоренного распределения материала.

К торцу наибольшего диска, которому принадлежит предпоследний ряд ударных элементов камеры помола, жестко прикреплены симметрично расположенные вертикальные опоры 10. К внешней поверхности наружного ряда ударных элементов 8 и к внутренней поверхности вертикальных опор 10 жестко прикреплены по всей их высоте конические кольца 11 с концентрическими выступами 12 и канавками 13. Конические кольца 11 верхнего 4 и нижнего 7 дисков расположены поочередно по вертикали. Угол наклона образующей каждого конического кольца 11 превышает угол естественного откоса материала. Зазор, образованный концентрическими канавками 13 и выступами 12 смежных конических колец 11, имеет размер $(2 \dots 10) d_{\max}$. Высота вертикальных опор 10 превышает высоту ударных элементов 5, 6 и 8, где d_{\max} – максимальный размер частиц готового продукта.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 4%, попадает в осевой загрузочный патрубок 3, к которому прикреплен верхний 4 горизонтальный диск, после чего направляется на нижний 7 горизонтальный диск и под действием центробежных сил, возникающих при вращении горизонтальных дисков 7 и 9, отбрасывается к первому ряду ударных элементов 5, где происходит частичное измельчение. Пройдя первый ряд ударных элементов 5, материал попадает в промежутки между смежными ударными элементами 6 и 8 последующих рядов. Здесь материал подвергается интенсивным ударным и истирающим нагрузкам.

После прохождения всех рядов ударных элементов 5, 6 и 8 частицы измельченного материала направляются в зазоры между коническими кольцами 11, при этом увеличивается концентрация частиц и происходит дополнительное измельчение частиц в рабочем пространстве между противоположно вращающимися профилированными поверхностями конических колец 11. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 дезинтегратора через разгрузочный патрубок 2.

При высокоскоростном встречном вращении конических колец 11 с сопрягаемым расположением выступов 12 и канавок 13 смежных конических колец 11 возникают раздавливающие и истирающие усилия на частицы материала в зазорах между коническими кольцами 11, что

обеспечивает окончательное измельчение материала перед его выходом в тангенциальный разгрузочный патрубок 2.

Для обеспечения необходимой пропускной способности зазоров между коническими кольцами 11 общая площадь поперечного сечения зазоров должна превышать суммарную площадь пространства между ударными элементами 5 первого внутреннего ряда. Количество конических колец 11 определяется высотой ударных элементов 8 и величиной зазора между коническими кольцами 11. Размер взаимного перекрытия противоположно вращающихся конических колец 11 равен $(1/2 \dots 2/3)l$, где l – радиальная длина конического кольца 11.

Применение дезинтегратора с противоположно вращающимися в периферийной части коническими кольцами 11, рабочая поверхность которых содержит противоположно расположенные канавки 13 и выступы 12, наряду с остальными конструктивными элементами камеры помола позволяет увеличить количество соударений частиц материала между собой, а также с рабочими поверхностями конических колец 11, раздавливающие и истирающие усилия на материал в периферийной части камеры помола дезинтегратора.

Все вышесказанное позволит значительно интенсифицировать процесс измельчения и увеличить производительность по готовому классу измельчаемого материала [1].

Список литературы:

1. Богородский А.В. Интенсификация процесса измельчения в мельнице дезинтеграторного типа / А.В. Богородский, В.Н. Блиничев, В.Б. Лапшин, П.П. Гуюмджян //Журн. Известия ВУЗов СССР, Химия и хим.технология 1980. Т.23, №5. – С. 643 – 645.
2. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий / И.А. Хинт. – М.: Госстройиздат, 1962. – 601 с.
3. Воронов В.П., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа // Известия ВУЗов. Строительство. № 11-12. 2008. С. 93-96.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С ЭФФЕКТИВНОЙ КАМЕРОЙ ПОМОЛА

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.,

Пугин А.И., аспирант

Беляев Д.А., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Дезинтеграторы являются одним из наиболее эффективных видов оборудования для помола, смешения и активации малоабразивных материалов твердостью по шкале Мооса до 7 единиц [2].

Одним из недостатков дезинтеграторов является незначительное количество соударений частиц материала и истирающие нагрузки на измельчаемый материал в периферийной части камеры помола, что ограничивает эффективность их работы.

В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора (рисунок 1), в которой осуществляется классификация и дополнительное измельчение частиц материала в периферийной части камеры помола.

Дезинтегратор состоит из цилиндрического корпуса 1, в боковой части которого установлен тангенциальный разгрузочный патрубок 2. В центре на верхней части цилиндрического корпуса 1 установлен осевой загрузочный патрубок 3 с возможностью вращения. К нижнему торцу осевого загрузочного патрубка 3 жестко закреплен верхний 4 горизонтальный диск, который содержит ударные элементы 5 и 6, расположенные по его концентрическим окружностям.

В нижней части цилиндрического корпуса 1 установлен нижний 7 горизонтальный диск с возможностью вращения. Нижний 7 горизонтальный диск, как и верхний 4 горизонтальный диск, содержит ударные элементы 8, расположенные по концентрическим окружностям, причем ударные элементы 6 верхнего 4 горизонтального диска находятся между ударными элементами 8 нижнего 7 горизонтального диска. На нижнем 7 горизонтальном диске жестко закреплен горизонтальный диск 9 с вертикальными лопатками для равномерного ускоренного распределения материала.

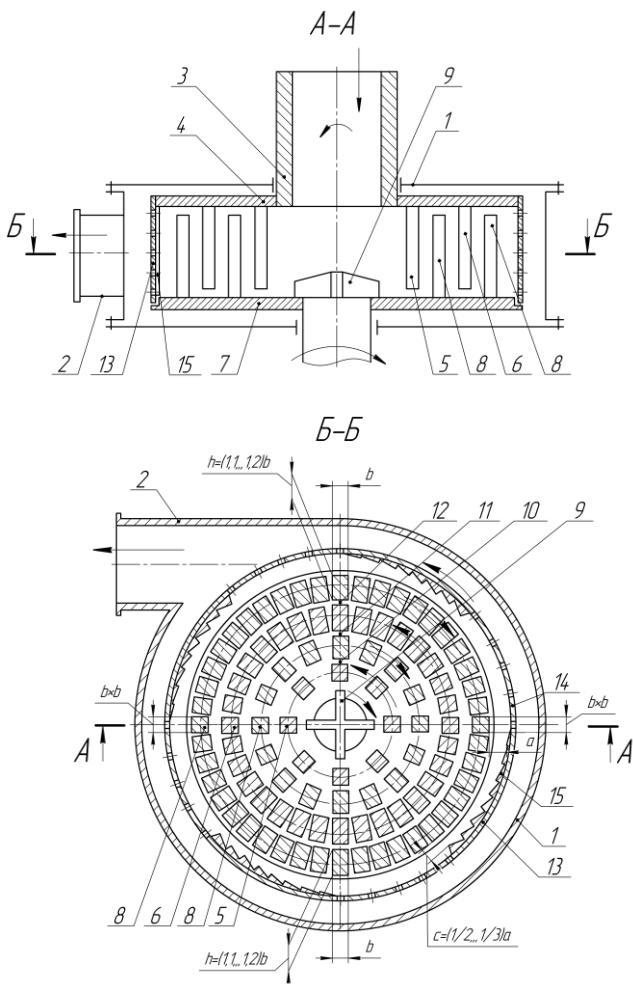


Рисунок 1. Камера помола дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – разгрузочный патрубок; 3 – загрузочный патрубок;
 4 – верхний диск; 5, 6, 8 – ударные элементы; 7 – нижний диск;
 9 – диск с лопатками; 10, 11, 12 – междурядные зазоры; 13 – цилиндр; 14 –
 участок цилиндра с отверстиями; 15 – бронеплиты переменного сечения.

Междурядные осевые зазоры 10, 11 и 12 во втором и последующих рядах в поперечном сечении равномерно изменяются по длине окружности и имеют максимальное и минимальное значение через каждые 180° . Поперечное сечение ударных элементов 6 и 8 при минимальном междурядном осевом зазоре является прямоугольником или близко к прямоугольнику со сторонами b и h , где $h = 1, 1 \dots 1, 2b$, где b – минимальный размер поперечного сечения ударного элемента. Поперечное сечение ударных элементов 6 и 8 при максимальном междурядном осевом зазоре представляет собой квадрат или близко к квадрату со стороной b . К торцу диска 4, которому принадлежит предпоследний ряд ударных элементов камеры помола, жестко прикреплен цилиндр 13, на внутренней поверхности которого по всей высоте жестко закреплены чередующиеся участки 14 для классификации материала с отверстиями размером $(1 \dots 5)d_{\max}$ и переменного сечения бронеплиты 15 для дополнительного измельчения материала. Зазор между наибольшим диаметром наружного ряда ударных элементов 8 и выступами бронеплит 15 уменьшается от значения a до значения $c = (1/2 \dots 1/3)a$ в направлении движения материала с наружного ряда ударных элементов 8. Высота цилиндра 13 превышает высоту ударных элементов, где d_{\max} – максимальный размер частиц готового продукта.

Максимальный осевой размер поперечного сечения ударных элементов 6 и 8 определяется из условия $h = 1, 1 \dots 1, 2b$. Исходя из равномерного изменения размеров междурядных осевых зазоров 10, 11 и 12, геометрическая форма ударных элементов 6 и 8 в поперечном сечении также равномерно изменяется от размеров $b \times h$ до размеров $b \times b$.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 4%, попадает в осевой загрузочный патрубок 3, к которому прикреплен верхний 4 горизонтальный диск, после чего направляется на нижний 7 горизонтальный диск и под действием центробежных сил, возникающих при вращении горизонтальных дисков 7 и 9, отбрасывается к первому ряду ударных элементов 5, где происходит частичное измельчение. Пройдя первый ряд ударных элементов 5, материал попадает в промежутки между смежными ударными элементами 6 и 8 последующих рядов, а также в междурядные осевые зазоры 10, 11 и 12. Здесь материал подвергается интенсивным ударным и истирающим нагрузкам, имеющим циклический характер за счет последовательного уменьшения и увеличения рабочего объема,

определяемого междурядными осевыми зазорами 10, 11, 12 и высотой ударного элемента.

После прохождения всех рядов ударных элементов 5, 6 и 8 частицы измельченного материала направляются к внутренней полости цилиндра 13. Частицы готового продукта проходят через отверстия в участках 14 для классификации материала, а крупные частицы направляются вдоль участков 14 для классификации и попадают на бронеплиты 15 переменного сечения, где происходит дополнительное измельчение частиц в переменном пространстве между противоположно вращающимися ударными элементами 8 внешнего ряда и бронеплитами 15 до тех пор, пока частицы не пройдут через отверстия в участках 14 для классификации. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 дезинтегратора через тангенциальный разгрузочный патрубок 2.

Так как во втором и последующих рядах ударных элементов 6 и 8 междурядные осевые зазоры 10, 11 и 12 равномерно изменяются по длине окружности и имеют минимальное и максимальное значение через каждые 180° , возникают раздавливающие и истирающие усилия на материал в междурядных осевых зазорах 10, 11 и 12, то есть во всем рабочем пространстве дезинтегратора. При высокоскоростном изменении рабочего пространства между наружным рядом ударных элементов 8 и выступами бронеплит 15 также возникают раздавливающие и истирающие усилия на частицы материала перед внутренней полостью цилиндра 13, что обеспечивает окончательное измельчение материала перед его выходом через отверстия в участках 14 для классификации. Для обеспечения необходимой пропускной способности отверстий их общая площадь должна превышать суммарную площадь пространства между ударными элементами 5 первого внутреннего ряда. Общей площадью отверстий определяются размеры участков 14 для классификации и соответственно бронеплит 15 переменного сечения.

Применение дезинтегратора с вращающимся в периферийной части цилиндром 13, боковая поверхность которого содержит по всей высоте участки 14 для классификации материала с отверстиями, а также переменного сечения бронеплиты 15 для дополнительного измельчения материала, наряду с различными междурядными осевыми зазорами 10, 11 и 12 в поперечном сечении позволяет увеличить количество соударений частиц с ударными элементами 5, 6 и 8 и бронеплитами 15, раздавливающие и истирающие усилия на

материал во всем рабочем пространстве дезинтегратора и обеспечить классификацию материала в периферийной части камеры помола.

Все вышесказанное позволит значительно интенсифицировать процесс измельчения и увеличить производительность по готовому классу измельчаемого материала [1].

Список литературы:

1. Богородский А.В. Интенсификация процесса измельчения в мельнице дезинтеграторного типа / А.В. Богородский, В.Н. Блиничев, В.Б. Лапшин, П.П. Гуломджян // Журн. Известия ВУЗов СССР, Химия и хим. технология. 1980. Т.23, №5. С. 643 – 645.
2. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий / И.А. Хинт. М.: Госстройиздат, 1962. 601 с.
3. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Основные процессы в производстве строительных материалов. 2е изд. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 550 с.

АДАПТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ В РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.,

Белорусско-Российский университет

Севостьянов В.С., д-р техн. наук, проф.,

Сиваченко Т.Л., соискатель

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Адаптация в технике и природе носит один и тот же смысл и означает приспособление к условиям происходящих при этом процессов [1]. Естественно, что правильное использование этого важнейшего функционального механизма открывает новые технологические механизмы при проведении целого ряда взаимодействий в преобразовании дисперсных сред. Рассмотрим некоторые адаптивные подходы в реализации механических процессов дезинтеграторной переработки дисперсных сред [2].

Главной отличительной особенностью большинства известных измельчительных машин является жесткое, в традиционном понимании, выполнение рабочих органов. Это означает их невосприимчивость к внешнему силовому воздействию. Амплитудно–частотные характеристики рабочих поверхностей их не соответствуют природе обрабатываемой среды и оптимальным условиям подвода энергии к этой среде. В наилучшей степени этим условиям удовлетворяют рабочие органы, выполненные на основе упругих элементов [3, 4], или имеющие зоны различных параметров воздействия на обрабатываемые продукты. В качестве известных конструкций рассмотрим несколько аппаратов, использующих такие возможности.

Типичным примером выполнения рабочих органов на основе упругих элементов является пружинная мельница. Ее принципиальная схема и механизм разрушения рабочим органом представлены на рисунке 1. Этот вид измельчительных машин отличается большим конструктивным многообразием и отличается от известных конструкций прежде всего тем, что подводимый к рабочему органу крутящий момент в значительной мере преобразуется в энергию колебаний его витков и передается непосредственно в обрабатываемую

среду. За счет этого происходит тиксотропное разрушение структуры и обеспечение устойчивой работы мельницы.

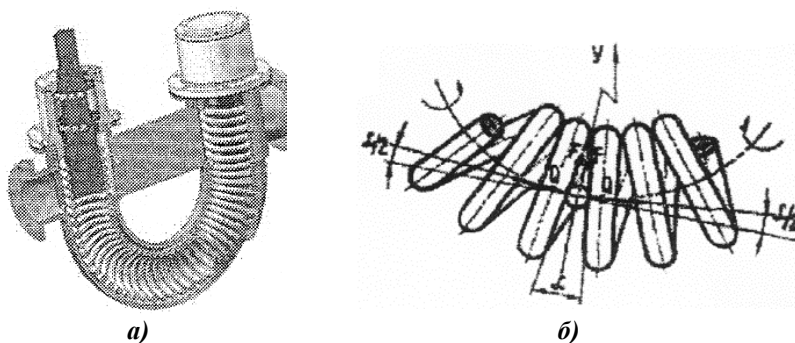


Рисунок 1 – Принципиальная схема пружинной мельницы и механизм разрушения материала в ней

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 и отличается высокой интенсивностью. В ней можно измельчать хрупкий материал любой прочности, твердостью до 5–6 единиц по шкале Мооса, причем избирательность воздействия легко регулируется жесткостью рабочих органов. Однако пружинная мельница способна принимать частицы материала исходной крупностью не более максимального зазора между витками, и она не отвечает нужным условиям эффективного измельчения большинства волокнистых и органических материалов.

Весьма оригинальной является конструкция мельницы, основанная на изменении объема рабочей камеры, выполненной на основе деформируемой камеры, заполненной мелочей загрузкой и связанной с приводом [5].

Использование в качестве рабочего органа деформируемой рабочей камеры позволяет получить новый механизм воздействия на обрабатываемую среду. При этом изменение степени и способа деформирования, варианта установки корпуса дают возможность в широких пределах изменять характер воздействия на материал в

зависимости от его свойства и требуемых условий проведения процесса. Некоторые конструкции форм деформируемых камер представлены на рисунке 2.

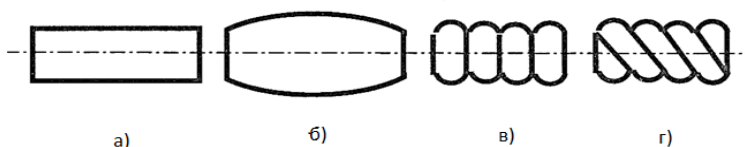


Рисунок 2 – Некоторые варианты форм деформируемых камер

Организованный таким образом механизм передачи энергии мелющей среде позволяет повысить энергонапряженность процесса и активизировать процесс тонкого помола целого ряда материалов, однако для переработки волокнистых продуктов, органического сырья и композитов, где требуется режущее действие, такая мельница не имеет значимых преимуществ перед другими измельчителями.

Новой конструкцией, использующей принцип реализации различных амплитудно–частотных характеристик является центробежный смесительный агрегат [6]. Эта центробежная мельница представляет собой разновидность вибрационных мельниц, применяемых для тонкого и сверхтонкого помола. Ее отличительной особенностью является принцип обеспечения разных видов движения мелющих тел в результате сложного плоскопараллельного перемещения помольных барабанов.

При прохождении через помольные камеры измельчаемый материал подвергается интенсивному воздействию виброударных, истирающих и раздавливающих нагрузок, что обеспечивает высокую производительность установки при низких энергозатратах. Здесь происходит сочетание в одной технологической машине стадий среднего, тонкого и сверхтонкого помола. Причем такое сочетание определяется не только формой и размерами мелющих тел, но и различными траекториями движения камер для обеспечения соответствующих режимов их работы: для среднего помола – интенсивная ударная нагрузка и частичное истирание; для тонкого помола – ударная нагрузка с увеличением степени истирания; для сверхтонкого помола – интенсивное истирание. Разработанный агрегат (см. рисунок 3) состоит из станины, верхней помольной камеры, средней помольной камеры и нижней помольной камеры, которые жестко крепятся к раме загрузочных и разгрузочных патрубков с

загрузочными и разгрузочными решетками, противовесов для балансировки рычажного механизма.

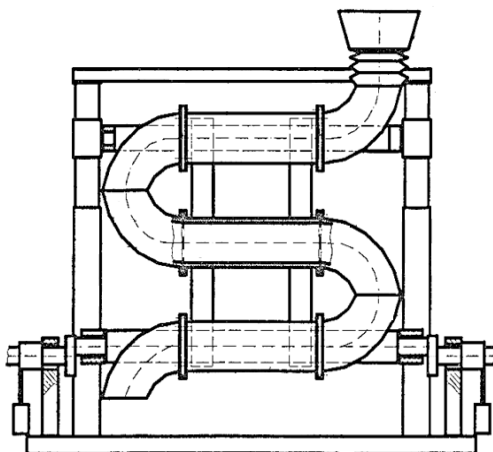


Рисунок 3 – Центробежный помольно – смесительный агрегат

В целом описанный агрегат характеризуется высокими технологическими показателями обработки ряда материалов, в нем успешно и эффективно совмещаются процессы помола и смешивания, однако для реализации режущих механизмов разрушения конструкция не приспособлена, что ограничивает области ее применения.

В проводимом анализе способов измельчения анизотропных материалов и технических средств для их реализации можно представить большое количество информации [7-12], но даже этого не хватит для полноценной оценки такой важной и, к сожалению, недостаточно развиваемой проблемы, как измельчение анизотропных материалов.

Важным фактором в пользу рационализации управляемого измельчения материала является условие возрастания энергонапряженности процесса пропорционально степени его дисперсности. В первую очередь это обусловлено увеличением прочности частиц по мере уменьшения их крупности, что требует изменения характера и интенсивности на каждой из стадий измельчения.

О потенциальных возможностях измельчительных агрегатов

достаточно достоверно можно судить по энергонапряженности их работы. Термин «энергонапряженность», введен Акуновым В.И. [13] и означает потребляемой мощности N привода мельницы, кВт, к полной ее массе G , т.е. кВт/т:

$$\mathcal{E} = \frac{N}{G} \quad (1)$$

Из-за количественной неопределенности вряд ли есть большая научная значимость проводить детальный анализ этого показателя. Это следует из-за некорректности значений энергонапряженности применительно к тем или иным конструкциям. Можно утверждать, что это приближенный метод оценки потенциальных возможностей измельчительных машин вне реальных закономерностей, протекающих в них процессов.

Одной из главных тенденций развития измельчительных машин является реализация больших плотностей энергии в рабочем пространстве, которые характеризуются мощностью, приходящейся на единицу рабочего объема [14]. Ясно, что это более конкретный показатель, но и он в полной мере не отражает физики процесса, так как степень заполнения рабочим оборудованием помольной камеры находится в широком диапазоне даже для однотипных аппаратов. Развивая дальше методы оценки измельчителей по критерию энергонапряженности можно предположить, что более достоверно этот процесс будет характеризовать показатель, определяемый как отношение подведенной, то есть потребляемой мощности $N_{\text{потр}}$ к количеству измельчаемого материала $G_{\text{матер}}$ в единицу времени для непрерывного процесса измельчения, кВт/кг.

$$E = \frac{N_{\text{потр}}}{G_{\text{матер}}} \quad (2)$$

О функциональных возможностях измельчителей можно судить по максимальным контактным напряжениям, возникающим в рабочих зонах между рабочими органами и материалом или между частицами материала при их самоизмельчении.

Измельчение следует в идеале характеризовать не тем значением энергонапряженности, которое достигнуто в реальных условиях, а максимально возможной величиной отношения затрачиваемой энергии на создание таких удельных напряжений, возникающих в частицах разрушаемого материала и при таком виде нагружения, который соответствует условиям его минимальной прочности

разрушаемого материала и энергетически наиболее выгоден и количеству материала, подвергаемого такому воздействию.

Из сформулированных положений можно заключить, что наилучшим, с точки зрения эффективности измельчения, будет такой аппарат, в котором разрушению подвергается минимальное количество материала с максимальной концентрацией внешней энергией в нем. Очевидно, что в значительной степени этому условию соответствуют конструкции измельчителей с развитой поверхностью рабочих органов. Исследованию этого класса оборудования будут посвящены последующие работы.

Список литературы:

1. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.], Минск, Изд. центр БГУ, 2008. 375с.
2. Севостьянов В.С. Технологические комплексы и оборудование для переработки утилизации техногенных материалов / В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, М.В. Севостьянов, О.А. Носов, Белгород, Изд-во БГТУ, 2015. 321с.
3. Богородский А.В. Разработка конструкций и методов расчета интенсивных измельчителей дезинтеграторного типа. Иваново, Химия. 1982. 90 с.
4. Семикопенко И.А. Помольно-смесительный агрегат /И.А. Семикопенко, С.В. Вялых, Л.А. Жуков, Межвуз. сб. статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2012. С. 365–369.
5. Лозовая С.Ю. Схемы устройств для помола с деформируемыми рабочими камерами /С.Ю. Лозовая, Науч. теор. ж–л Вестник БГТУ, № 6, 2003, Часть 3, Белгород, С. 323–325.
6. Севостьянов В.С. Центробежный помольно–смесительный агрегат /В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, Е.В. Сеница, Науч. теор. ж–л Вестник БГТУ № 11, 2005, Белгород, С. 215–217.
7. Горобец В.И. Новые направления работ по измельчению /В.И. Горобец, Л.Ж. Горобец. М., Недра, 1977. – 183 с.
8. Ревнивцев В.И. Перспективы применения источников высокой энергии для дезинтеграции твердых материалов /В.И. Ревнивцев, В.Ю. Вероман, Межведомственный сб. науч. тр. Дезинтеграция руд и твердых материалов, Л–д, 1988, С. 5–12.
9. Шинкоренко С.Ф. Технология измельчения руд черных металлов /С.Ф. Шинкоренко. М., Недра, 1982. 212 с.
10. Оспанов А.А. Основы эффективного измельчения и механики разрушения /А.А. Оспанов, Ш.К. Тлегенов, Алматы, 2000. 107 с.

11. Родин Р.А. О работе, расходуемой на дробление горных пород /Р.А. Родин, Известия вузов. Горный журнал, 1987, № 6. С. 84–89
12. Родин Р.А. О гипотезах дробления /Р.А. Родин //Известия вузов, Горный журнал, 1989. № 4. С. 71–78.
13. Акунов В.И. Современное состояние и тенденции совершенствования молотковых дробилок и мельниц /В.И. Акунов, Строительные и дорожные машины, 1995, № 1, С. 11–13.
14. Сиваченко Л.А. Основы оценки энергонапряженности помольных установок /Л.А. Сиваченко, Т.Л. Сиваченко, Межвуз. сб. статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2012. С. 399–401.

ВОЛОКОННЫЙ СПОСОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ВОПРОСЫ ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Сиваченко Л.А., докт. техн. наук., проф.,

Белорусско-Российский университет

Сотник Л.Л., преподаватель,

Барановичский государственный университет

Сиваченко Т.Л., соискатель

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Развитие строительного материаловедения идет по целому ряду направлений и одним из них является создание новых технологий, основанных на использовании частиц наноразмерной группы. Это требует использования измельчительных установок, способных такие частицы получать в составе соответствующих композиций. Для этих целей используются различные мельницы: планетарные, бисерные, вибрационные, струйные, коллоидные, пружинные и другие [1]. Основным направлением в конструировании этих аппаратов является максимальное уменьшение размеров мелющих тел и максимальное повышение энергонапряженности процесса помола [2, 3].

В качестве мелющих тел сегодня используются мельчайшие шарики, диаметром 20-500 мкм, ролики, бильные элементы и т.д. [4]. Каждый из них обладает набором специфических недостатков, но каждый имеет свою нишу предпочтительного применения. Потребности производства постоянно нуждаются в расширении аппаратурной базы, что требует разработки новых способов помола материалов до размеров частиц менее 1 мкм.

В качестве одного из направлений развития техники для ультрадисперсного размала порошковых материалов нам представляется использование тончайших металлических волокон, которые набираются в жгуты, пакеты или пряжи и в таком виде выполняют функции мелющих тел. При этом волоконные элементы помещаются между двумя периодически сближающимися поверхностями, в пространство между которыми одновременно в виде суспензии подается исходный материал. Варьируя силу прижатия

поверхностей можно получить необходимую для разрушения частиц нагрузку.

Выбор металлических волокон в качестве мелющих тел нам представляется возможным вариантом замены некоторой части аппаратов с шаровой загрузкой, стоимость которой чрезвычайно высока. При этом шаровое измельчение относится к способу помола со свободным движением мелющих тел [2], что не позволяет максимально использовать потенциал измельчения по критерию энергонапряженности и, соответственно, созданию в частицах измельчаемого материала предельных контактных напряжений.

Варианты единичных актов волоконного измельчения приведены на рисунке 1. Во всех случаях соседние волокна (проволочки) 1, 2 могут контактировать по своим образующим (см. рис. 1а и 1б), причем в одном случае по линии (см. рис. 1в), а во втором – в точке (см. рис. 1г). Характер взаимодействия в каждом конкретном случае может быть различным, например, чистое сжатие, сжатие со сдвигом, истирание и т.д.

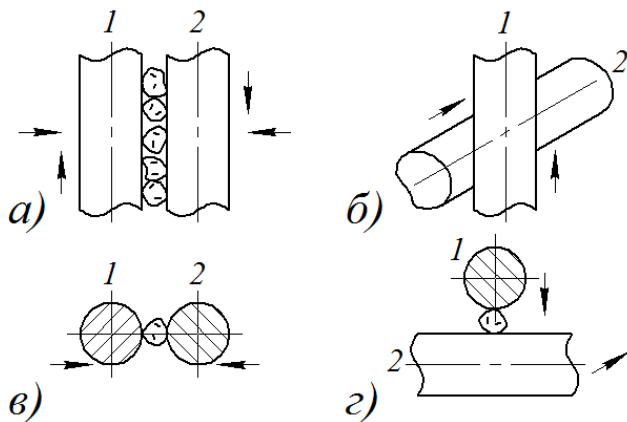


Рисунок 1 – Варианты единичных актов волоконного измельчения

Не смотря на свою простоту волоконный способ измельчения материалов в плане его практической реализации являет собой на сегодня полную неопределенность. Это естественным образом следует из того, что подобные методы помола ранее никем не рассматривались,

что подтверждено патентным поиском и анализом научно-технической информации.

Во-первых, поведение тонких волокон в обрабатываемой среде твердых частиц и, тем более, в режиме постоянных деформаций совершенно не изучено. Это касается в первую очередь взаимного расположения в пространстве взаимодействующих между собой соседних волокон. В качестве выбора их реальных размеров нам представляется, что диаметры отдельных проволочек следует выбирать 0,15 – 0,50 мм и менее. Во-вторых, не определено, из какого материала и каким образом следует изготавливать волоконные рабочие органы. Обсуждение этого вопроса в таком ракурсе является наиболее актуальным и должно опираться на соответствующие технологии производства мелкосортного профиля.

В-третьих, отсутствует информация о процессах износа металлических волокон при взаимодействии с абразивными частицами, что особенно актуально для тонких волокон, которые могут перетираться за короткий промежуток времени.

Перечисленные факторы накладывают ряд жестких условий на проектирование волоконных мельниц. Первым и главнейшим из них является такое взаимное расположение волокон, чтобы их контактирующие образующие были параллельны между собой. Кроме того, технологию изготовления волоконных мелющих гарнитур придется базировать на методах, используемых в текстильной промышленности. В качестве первой проработки предлагается конструкция волоконной мельницы, принципиальная схема которой показана на рисунке 2.

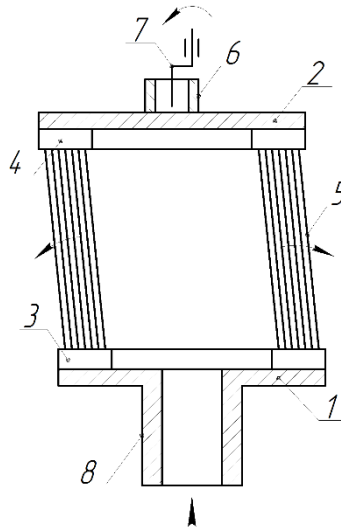


Рисунок 2 – Принципиальная схема волоконной мельницы

Волоконная мельница состоит из неподвижного основания 1 над которым установлена подвижная шайба 2, а между ними с помощью кольцевых замков 3, 4 закреплена завеса 5, выполненная из набора плотно примыкающих друг другу волоконных элементов. Верхняя подвижная шайба 2 с внешней стороны имеет втулку 6, в которую входит эксцентриковый вал 7. Для подачи исходного материала в рабочую полость мельницы служит патрубок 8.

Измельчение суспендированного исходного материала крупностью менее 0,05-0,1 мм происходит между боковыми поверхностями волоконца, образующих завесу 5. Для этого подвижная шайба 2 под действием эксцентрикового вала 7 совершает плоско параллельные движения без её вращения, что способствует взаимным перемещениям волокон завесы 5 между которыми проходит и одновременно измельчается исходный материал, подаваемый в рабочие зоны под давлением через патрубок 8. Процесс прохождения обрабатываемого материала через волоконную завесу может быть многократным до получения продукта требуемого качества.

Для определения принципиальной возможности создания волоконной мельницы необходимо разработать и испытать ее опытный

образец. Эти работы планируется выполнить на макетном образце, который будет изготовлен из металлического корда – проволоки из стали 70 диаметром $d = 175$ мкм производства Белорусского металлургического завода, г. Жлобин.

Список литературы:

1. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.], Минск, Изд. центр БГУ, 2008. 375 с.
2. Горловский И.А. Оборудование заводов лакокрасочной промышленности / И.А. Горловский, Н.А. Козулин. Л. Химия. 1980. 376 с.
3. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов, Новосибирск. Наука. 1986. 303 с.
4. Вайтехович П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П.Е. Вайтехович, Минск. БГТУ. 2008. 220 с.

К ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Белорусско-Российский университет

Сиваченко Т.Л., соискатель,
Василенко О.С., аспирант,

Александрова Е.Б., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Использование энергии ветра в технологиях производства строительных материалов не является принципиально новой темой. Это только нами неоднократно предлагалось в виде технических предложений, научных разработок или патентных решений [1–3], но практических действий пока даже на перспективу не планируется. Важно помнить, что это не только значимый потенциал энергосбережения в отрасли, но и несомненный козырь в будущей конкурентной борьбе.

Представим для обсуждения несколько конкретных наработок, касающихся прямого использования энергии ветра в технологиях производства строительных материалов. Под этим определением будем понимать использование ветра в различных процессах прямо или косвенно связанных с функционированием предприятий стройматериалов. В качестве возможных приложений будем рассматривать измельчение, смешивание, сушку, охлаждение, классификацию, барботаж, пневмотранспорт, получение сжатого воздуха, и ряд других процессов, движущей силой которых является энергия ветра, не связанная с ее трансформацией для преобразования в электрическую. Ниже рассмотрим некоторые варианты предлагаемых решений.

Холодная сушка влажных сырьевых материалов. Принципиальная схема агрегата для измельчения влажного сырья и удаления из него влаги потоком воздуха приведена на рисунке 1 [4]. Для создания необходимого потока воздуха по интенсивности его движения планируется использовать лопастной мачтовый ветроагрегат, в котором вместо генератора установлен центробежный компрессор. Устройство такого ветроагрегата будет рассмотрено ниже.

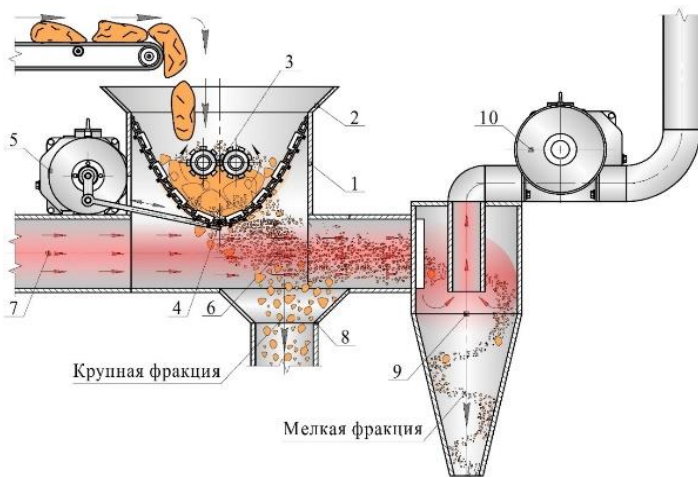


Рисунок 1 – Принципиальная схема агрегата для измельчения влажного сырья и удаления из него влаги.

Агрегат для измельчения и удаления влаги из сырьевого материала включает корпус 1 с установленным на нём приемным бункером 2. В корпусе 1 размещен шредер 3, препятствующий образованию объемных кусков перерабатываемого материала, измельчаемого цепным рыхлителем 4, связанным с приводом 5, причем нижняя часть корпуса 1 совмещена с камерой для удаления влаги 6, снабженной патрубком 7 для подачи газового агента. Более крупные куски измельченного и подсушенного материала осаждаются в воронке 8, в то время как более мелкие его частицы вместе с газовым агентом и влагой попадают в циклон 9, в котором происходит осаждение более тяжелых частиц измельченного и подсушенного материала, а более легкий газовый агент вместе с влагой удаляются вытяжкой 10.

Ветроагрегат для получения сжатого воздуха. Конструкция непосредственно рабочей части ветроагрегата представлена на рисунке 2 [5]. Она включает в себя лопасть 1, смонтированную на главном валу 2 главного подшипника 3 ступицы 4. В гондоле 5 соосно размещены повышающий редуктор 6, связанный с центробежным компрессором 7, который соединен с трубопроводом 8, имеющим подвижное уплотнение 9 и снабжен воздухозаборником 10. Гондола 5 смонтирована посредством поворотного устройства 11 на мачте 12.

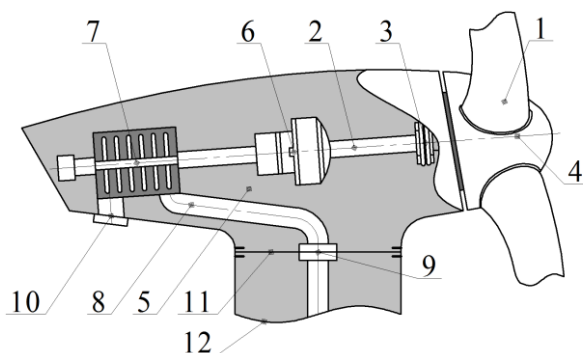


Рисунок 2 – Ветроагрегат для получения сжатого воздуха

Принцип работы ветроагрегата данной конструкции дополнительных пояснений не требует и отличается от известных решений включением в его состав центробежного компрессора 7, которых через воздухозаборник 10 всасывает атмосферный воздух и нагнетает его в трубопровод 8, по которому под давлением 0,4 – 0,8 мПа он поступает на соответствующую технологию. При этом гондола 5 поворачивается относительно мачты 12 в поворотном устройстве 11, а трубопровод 8 имеет подвижное уплотнение 9.

Полученный таким образом сжатый воздух может быть использован для подачи в пневмосеть потребителя и выполнять другие технологические функции: помол материалов, смешивание, пневмотранспорт, классификацию, сушку, барботаж, охлаждение, активизацию процесса горения и т.д. Кроме описанной конструкции ветроагрегата могут быть для заданных задач использованы и другие, например, лопастные с вертикальной осью, роторные, турбинные, ортогональные и др. [5].

Ветроагрегат для струйного измельчения. Использование энергии ветра может кардинально изменить работу струйной мельницы. Ветроагрегат для струйного измельчения, изображенный на рисунке 3, содержит конфузур 1 для концентрации воздушного потока, в горловине которого в цилиндрическом корпусе 2 установлено турбинное колесо 3. Ротор 6 турбинного колеса закреплён на опорах 4 и 5, а для выпуска отработанного воздуха предусмотрен патрубок 7. Вся ветроэнергетическая часть смонтирована на несущей конструкции 8, на

которой установлены мультипликатор 9 и компрессор 10, кинематически соединённые с ротором 6 турбинного колеса 3. Забор воздуха в компрессор 10 и его подача под давлением в систему измельчения осуществляются соответственно через патрубок 11, соединённый с патрубком 7 для выпуска отработанного после турбинного колеса 3 и через напорный трубопровод 12.

Технологическая цепь струйного измельчителя включает в себя ресивер 13, бункер 14 с исходным материалом, подлежащим измельчению, питатель 15, струйную мельницу 16, отводящий трубопровод 17, осадительную камеру 18 и выходную трубу 20 для удаления отработанного газового агента.

Включение в состав ветроагрегата обратимой электрической машины 21 выводит его на новый функциональный уровень, т.к. система может работать в режиме прямого использования энергии, её накопление или отдача уже накопленной на другие технологические цели, а также подключать электрическую сеть при недостаточной активности ветрового потока.

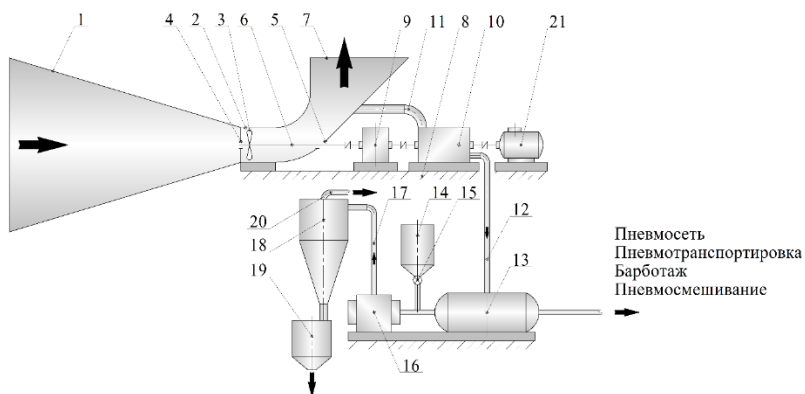


Рисунок 3 – Ветроагрегат для струйного измельчения

На наш взгляд, в качестве ветродвигателя в подобных конструкциях лучше всего использовать не турбинное колесо, а горизонтальный ветроагрегат, который удобно монтировать на промышленных объектах непосредственно в зоне проведения технологических процессов. При этом ряд аппаратов для тонкого и сверхтонкого помола, например, вибрационных, бисерных, пружинных,

молотковых и других можно непосредственно соединять с быстроходным валом. Наиболее целесообразно использовать подобный подход для работы мельниц с очень длительным циклом помола, которые мало чувствительны к колебаниям потоков ветра. Лучше всего этим условиям соответствуют вибрационные мельницы.

Наши предки широко использовали энергию ветра непосредственно для совершения нужной работы, в частности, для помола зерна. В промышленности строительных материалов можно найти целый ряд других применений энергии ветра без ее трансформаций. Так, откачка воды в карьерах вполне по силам вертикальным роторным ветроагрегатам, а замена напорных вентиляторов – скоростным осевым турбинам. Подобный список можно продолжить, но важнейшим должен являться тот неоспоримый факт, что значимый и доступный источник дешевой энергии и есть реальный движитель энергосбережения.

Список литературы:

1. Сиваченко Л.А. Использование энергии ветра в технологиях производства строительных материалов / Л.А. Сиваченко, Ю.К. Добровольский, Энергоэффективность, Минск, №8, 2014. С. 29-31.
2. Сиваченко Л.А. Технологические переделы с максимальным потенциалом энергосбережения / Л.А. Сиваченко, У.К. Кусебаев, И.А. Реутский, А.М. Ровский, Энергоэффективность, Минск, №10, 2015. С.24-30.
3. Инновационный патент на изобретение РК №28146 по заявке №2013/0420.1 от 05.04.2013 «Турбинный ветроагрегат для струйного измельчения». Оpubл. 21.04.2014. Бюл. ;4, Авт. Унаспеков Б.А., Сиваченко Л.А., Голбан Е.Г.
4. Сиваченко Л.А. Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л.А. Сиваченко, А.М. Ровский, И.А. Реутский, Вестник Бел.-Рос. ун-та, №1, 2016, С.78-86.
5. Русан В.И. Возобновляемая энергетика и энергетическая безопасность / В.И. Русан, Ю.С. Почанин, В.П. Нистюк/ Под. ред. Русана В.И. Минск, Энергопресс, 2014. 646 с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Сиваченко Л.А., д-р. техн. наук, проф.,
Белорусско-Российский университет

Богданов В.С., д-р. техн. наук, проф.,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«р_офи_м» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова*

Несмотря на то, что существующие процессы измельчения являются не только одними из наиболее распространенных в технике и самыми энергоемкими и дорогостоящими во всех промышленных переделах [1], их развитие и совершенствование осуществляется крайне медленно и недопустимо с позиции экономических угроз и технологических вызовов [2]. Складывающаяся ситуация требует как серьезного анализа в области практической реализации процессов измельчения, так и прогнозирования их трансформирования с учетом ожидающего нас очередного цивилизационного прорыва [3]. Многообразие дезинтеграторных машин и технологий не позволяет дать их всестороннюю оценку, по этому наши авторские обобщения коснутся преимущественно задач измельчения в промышленности строительных материалов.

С целью оценки возможностей перевооружения отделений измельчения материалов для нужд стройиндустрии разделим их на основные группы по физико-механическим и технологическим признакам и дадим оценку на примере Беларуси [4]. К сказанному только следует добавить, что для России номенклатура измельчаемых материалов более пестрая, а объемы переработки несоизмеримы, но принципиально оборудование и технологии ничем не отличаются между собой.

Группа 1 – это прочные скальные породы. К ним относится гранитный щебень ОАО «Гранит» г. Микашевичи, объем его переработки составляет около 18 млн. тонн в год и доломит ОАО «Доломит» п. Руба, Витебский р-н, объемы переработки до 5 млн.

т/год, а также переработка валунных материалов предприятий дорожной отрасли – до 3,0 – 3,5 млн.т/год.

Группа 2 – измельчение, причем, как правило, с сушкой влажных, рыхлых, малопрочных пород к которым относится мел, мергель, глина, уголь, трепел – это примерно 16,0 – 18,0 млн.тонн, преимущественно карбонатного сырья для производства цемента по сухому способу.

Группа 3 – высокопрочные и обожженные материалы – цементный клинкер, комовая известь, а также сырьевые материалы – кварцевый песок и др. Объемы их переработки можно оценить в 16 млн.т/год.

Группа 4 – большое число других продуктов, однако объемы их переработки сравнительно невелики и на общую картину энергопотребления значимого влияния не оказывают. К ним можно отнести различного рода добавки, лакокрасочные материалы, порошки, пасты, шликеры и т.д. В эту группу целесообразно также включить и аппараты для приготовления наноструктурных композиций, которые получают развитие во всем мире.

Группа 5 – отходы всех видов, прежде всего, твердые бытовые отходы (ТБО), древесина, автомобильные шины, фекальные илы и т.д. Потенциал использования этих материалов по исходной переработке сырьевой массы мы можем оценить в 4-5 млн. т/год.

Группа 6 – строительные смеси на основе вяжущих веществ, преимущественно бетонные смеси, а также массоподготовки в силикатной и керамической отрасли. Современные технологии их приготовления предусматривают механоактивацию исходных компонентов с целью экономии вяжущего или повышения показателей качества готовых изделий. Объемы переработки реальны до 8,0-8,5 млн. м³ в год.

Учитывая, что процессы измельчения в структуре производства строительных материалов сопряжены с другими (смешивание, сушка, транспорт, обогащение, классификация и др.), их приемлемо называть дезинтеграторными, как это принято в рудоподготовке [1]. Технология их проведения во многом определяет как условия, так и энергоэффективность работы оборудования.

Представляет определенный интерес анализ конструкций технологического оборудования для переработки этих материалов.

В первой группе основу парка машин составляют щековые, конусные и в некоторой части агрегаты ударного действия. Энергоемкость процесса измельчения при этом сравнительно низкая, а конструкции машин, отличающихся большими габаритными размерами и массой, достаточно отработаны и весьма консервативны в своем

развитии, что не предполагает их существенной модернизации. Кроме того, рынок этого оборудования заполнен, а резерв модернизации минимален. Здесь, прежде всего, для осуществления ресурсосбережения возможно решение ряда технологических задач, например, уменьшения переизмельчения продукта. Известно, что в ОАО «Гранит» скопилось 16 млн. тонн гранитного отсева и его можно использовать во многих производствах, организовав соответствующую переработку.

Принципиально по иному обстоит ситуация с переработкой материалов второй и третьей групп. Особое внимание здесь следует обратить на переработку сырьевых материалов, т.к. это не только чрезвычайно массовый передел, очень энергоемкий, но и значительно расширяющий свое применение в связи со строительством новых цементных заводов, использующих сухой способ производства. Здесь широко применяются шаровые мельницы, аэрофолы, валково – тарельчатые агрегаты и молотковые измельчители. Это наиболее расточительные машины с большим потенциалом энергосбережения, который реально можно использовать.

Здесь возможно получение большой экономии энергоресурсов с помощью новых подходов, например, от использования холодной сушки в стадии первичной обработки сырья при сухом способе производства цемента. В этом случае сырье карьерной влажности подвергается интенсивному измельчению (дроблению) с одновременной продувкой атмосферным воздухом, концентрируемым посредством конфузора и подаваемым в зону измельчения со скоростью 25-80 м/сек [4].

Оборудование, входящее в четвертую группу, многочисленно, и разнообразно по конструктивному исполнению, но в общем составе дезинтеграторных технологий его доля сравнительно мала. Совершенно иная картина с переработкой материалов, входящих в пятую группу. Переработка отходов входит в перечень национальных проблем, особенно с экологических позиций, но для их эффективной переработки нужного оборудования просто нет, а значит его нужно создать.

Включение в состав перерабатываемых материалов строительных смесей (группа 6) потенциально необходимо с целью реализации ресурсосбережения, которое можно обеспечить механоактивацией, т.е. домолом вяжущего и части мелкого заполнителя. Технологически это давно доказано, но пока нет надежного оборудования для такой обработки. Вопросы механоактивации чрезвычайно актуальны и требуют отдельного рассмотрения [4, 5].

Новых решений в части снижения затрат на помол при производстве строительных материалов может быть множество, но для их практической реализации требуется проведение большой поисковой, организационной и исследовательской работы.

Перевооружение отделений дезинтеграции строительных материалов касается создания энергоэффективных агрегатов для крупнотоннажного производства. Если конкретизировать задачу, то можно выделить две группы машин, которые определяют уровень этой техники. Это, прежде всего, шаровые мельницы, отличающиеся очень высокой энергоемкостью и большими эксплуатационными издержками. Например, расход электроэнергии на тонкий помол цемента составляет порядка 30-45кВтч/т, а другие затраты на проведение процесса (износ мелющей гарнитуры, ремонты, и др.) эквивалентны ему по стоимости. Во вторую важнейшую группу машин входят дробилки ударного действия, которые начинают доминировать в стадиях подготовки сырья, особенно при сухом способе производства цемента.

Общая картина процессов измельчения в отрасли достаточно подробно изложена в работе [5], однако она не предусматривает их увязку с реальным уровнем промышленного производства, общенаучным потенциалом их развития и механизмами его реализации. На этом основании остановимся на рассмотрении некоторых важных на наш взгляд, направлениях приложения процессов измельчения.

1. Крупнотоннажные производства. Сюда следует отнести дробление горных пород в дробилках различного типа, переработку влажных сырьевых материалов, в том числе с совмещением измельчения с сушкой, тонкого помола прочных и валковых агрегатах, а также измельчение целого ряда материалов другими способами, например, в дробилках ударного действия или аэрофолах.

В составе перечисленных переделов важнейшим является помол в шаровых и валковых установках, так как эти машины не только наиболее применяемые и энергозатратные из всех существующих, но и самые «устойчивые» в своей технологической нише. Их техническая модернизация во многом исчерпала экономически значимый потенциал, а замену их машинами другого принципа действия на ближайшие 15 – 20 лет даже гипотетически вряд ли следует ожидать.

2. Технологии и оборудование для массоподготовки. Речь следует вести о процессах производства силикатных и керамических материалов, получения сухих строительных смесей, приготовления

различных составов, в том числе на органической основе и многих других.

Этому технологическому сегменту в равной степени присущи как большая энергоёмкость и разветвленность набора целей оборудования, так и огромный потенциал совершенствования по всем направлениям и, прежде всего, в улучшении качества массоподготовки, энергосбережении и снижении капитальных затрат при освоении выпуска нового оборудования. Сегодня здесь прогресс сдерживается освоенностью рынка традиционными производителями и отсутствием его «возмутителей», т.е. появлением новых конкурентов.

3. Оборудование и технологии для приготовления строительных смесей. Главным тезисом этого направления является процесс механоактивации вяжущих и заполнителей, что особенно актуально для приготовления бетонных смесей. На данный момент накоплен значительный потенциал в решении этой задачи [4, 5], что позволяет ставить вопрос о коренной модернизации бетонносмесительных заводов и установок путем встраивания в состав оборудования механоактиваторов дезинтеграторного типа и корректировки технологического процесса, особенно в части отдельной обработки исходных компонентов.

4. Оборудование для переработки небольших по объёму но количественно многообразных материалов. В части этой группы машин и оборудования выполнено множество наработок, но их широкое использование сдерживается низким качеством и отсутствием крупного производителя, способного наладить все его изготовление в едином центре и организовать хорошее сервисное обслуживание, а также нежеланием предприятий – потребителей заниматься внедрением новой техники.

5. Переработка отходов. В наших странах это направление находится в зародышевом состоянии и его развитие следует начинать директивно, разрозненные мероприятия проблему не решат, поэтому, здесь требуется создание крупного центра, например, «Росотходы», в котором на первом месте должны быть технологии и объекты использования отходов, а только потом – оборудование.

6. Создание специальных машин и новых технологий. В последнее время возникает острая потребность в разработке оборудования, способного решать принципиально новые технологические задачи. Так,

уже сегодня находят практическое применение нанокomпозиции и наноматериалы, получаемые с использованием дезинтеграторных технологий. Многие технологии нуждаются в механизмах максимальной активизации химических процессов, возрастет требования к совмещению процессов помола с тепловыми, химическими переделами и т.д.

Генеральными задачами развития дезинтеграторных технологий является максимальное энергосбережение, поиск принципиально новых механизмов и способов измельчения, создание многофункциональных помольных систем, всемирное снижение стоимости помола при одновременном обеспечении предельно возможного качества переработки. Нельзя забывать и о решении новых задач, например, производства компонентов для 3D принтеров, которые войдут в ближайшее время и в строительную отрасль. Круг новых направлений и технологических задач, решаемых с помощью дезинтеграторных стадий переработки, будет только расширяться.

Обобщающая оценка дезинтеграторных технологий позволяет со всей определенностью утверждать, что эта сфера промышленного производства напрочь исчезла из интересов не только отечественных управленцев, но и бизнесменов. Объяснение этому следует из полного отлучения специалистов и научных коллективов, занимающихся проблемами измельчения сырья и материалов, от практического их решения. Речь стоит вести и о захвате рынка измельчительных машин зарубежными производителями, но самое странное для нас заключается в разрушении собственной машиностроительной базы и отсутствии вразумительного понимания её возрождения.

Вне всяких сомнений, системное развитие дезинтеграторных методов переработки материалов следует отнести к так называемым «передовым производственным технологиям» и рассматривать как часть стратегии защиты национальных интересов. [6]. Нельзя ставить себя в зависимость от зарубежных поставок оборудования, которое своими силами не производится и когда мы лишены возможности управлять эффективностью своего промышленного комплекса, а также занять достойное место в будущей новой нише в мировой экономике – технологическом машиностроении [3].

Список литературы:

1. Ревнивцев В.И. Селективное измельчение минералов /В.И. Ревнивцев [и др.], М., Недра, 1988. 286 с.
2. Шимов В.Н. Инновационное развитие экономики Беларуси: движущие силы и национальные приоритеты / В.Н. Шилов, Л.М. Крюков, Минск, БГЭУ, 2014. 199 с.,
3. Шамрай Ф.А. Модернизация в России / Ф.А. Шамрай Строительные и дорожные машины, 2012. № 2 С. 2-7.
4. Сиваченко Л.А. Энерготехнологические проблемы дезинтеграторных технологий в промышленности строительных материалов и пути их решения / Л.А. Сиваченко, Т.Л. Сиваченко, Н.В. Курочкин, Ю.К. Добровольский, ж-л Энергоэффективность, Минск, 2014, № 12. С. 22-25
5. Богданов В.С. Процессы в производстве строительных материалов / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. Белгород, Везелица. 2007. 512 с.
6. Данилин И. Новая промышленно–технологическая политика развитых стран: ждет ли нас IV индустриальная революция? /И. Данилин, Год планеты, Ежегодник, Экономика, политика, безопасность, 2014, Москва, Идея–пресс. С. 65-76

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИБРОВАЛКОВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОЙ ОБРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сиваченко Л.А., д-р. техн. наук, проф.,

Белорусско-Российский университет

Сотник Л.Л., преподаватель,

Богданович И.А., канд. техн. наук, доц.

Барановичский государственный университет

Измельчение является подготовительной стадией переработки материалов к участию их в последующих физико-химических взаимодействиях с целью получения новых продуктов и изделий. Процесс измельчения является одним из самых массовых и энергоемких, но при этом самым несовершенным из всех используемых в технике [1].

Известно большое количество самых разнообразных измельчительных машин [2], однако это многообразие является следствием, как их технологического несовершенства, так и недостаточно реализованных потенциалов развития.

В последние десятилетия наметился устойчивый переход простого процесса измельчения в более сложный механизм управляемого изменения свойств перерабатываемой среды [3]. Это, в свою очередь, привело к активизации научно-исследовательских и прикладных работ в области измельчителей повышенной интенсивности рабочего процесса: вибрационных, планетарных, струйных, электромагнитных и ряда других.

Одним из новых конструкторских решений по разработке мельниц повышенной энергонапряженности воздействия на частицы разрушаемого материала, является предлагаемый нами вибровалковый измельчительный аппарат, кинематическая схема которого приведена на рисунке 1.

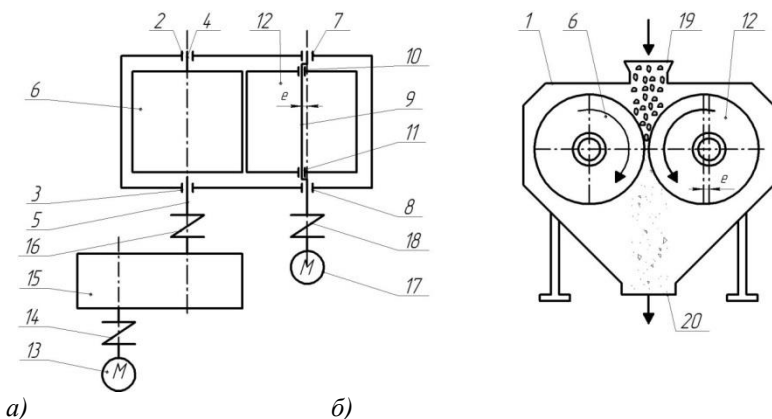


Рисунок 1 – Схема вибровалкового измельчителя: а – вид сверху, б – вид сбоку

Вибрационное воздействие на материал осуществляется приданием одному из валков дополнительного движения эксцентрично относительно его центральной оси, что способствует созданию в измельчаемом материале сложного объемного нагружения, осуществляемого с большой частотой воздействия.

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. Привод неподвижного валка 6 осуществляется от электродвигателя 13 через муфту 14, редуктор 15 и муфту 16, а подвижного валка - от электродвигателя 17 через муфту 18. Для загрузки и выгрузки материала предусмотрены устройства, выполненные в виде люков 19, 20. Эксцентриковый вал 9 устанавливается в опорах 7, 8 с эксцентриситетом e относительно центральной оси подвижного валка 12.

Рабочий процесс вибровалкового измельчителя осуществляется следующим образом. Одновременно включаются электродвигатели 13, 17 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 $2e$. Через загрузочный люк 19 в межвалковое пространство непрерывным потоком подается подлежащий обработке исходный

материал и подвергается интенсивному разрушению путём динамического высокочастотного сжатия со сдвигом.

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 20.

Для расчета параметров вибровалковых измельчителей, которые могут работать как в режиме дробления так и в режиме помола, нет существующих методик, так как это новый тип аппарата. Приемлемыми являются методики расчета валковых дробилок [4, 5], которые мы используем как основу для предварительного расчета разрабатываемой конструкции.

Угол захвата в валковых дробилках – это угол β между двумя касательными к поверхностям в точках соприкосновения с дробимым материалом что поясняется рисунком 2. Кусок материала будет захватываться, если $\beta \leq 2\varphi$ или $\alpha \leq \varphi$.

Для обеспечения нормального дробления у валковых дробилок угол захвата не должен превышать двойного угла трения. По коэффициенту трения для реальных случаев $f=0,30\dots 0,45$, угол трения составляет $\varphi=16^\circ 40' \dots 24^\circ 20'$. Для практически гладких валков $\alpha=16^\circ \dots 24^\circ$, чтобы исключить выдавливание дробимых кусков из валковой зоны.

То есть, должно быть выполнено условие

$$2P \sin \alpha \leq 2fP \cos \alpha \quad (1)$$

Максимальный размер куска, захватываемого валками можно определить

$$d_{\max} = \frac{D(1-k) + b}{k} \quad (2)$$

где k – коэффициент захвата (для гладких валков $k=0,954$), b – ширина выходной щели, м.

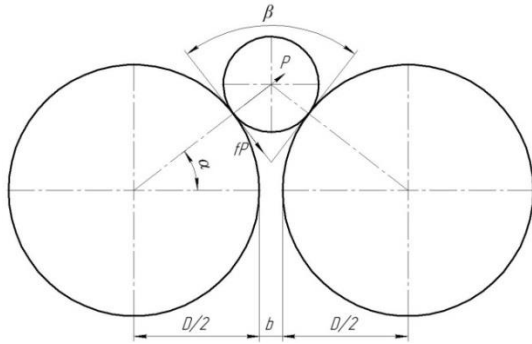


Рисунок 2 – Схема к расчету валковой дробилки

Частота вращения валков n , об/с, не должна превышать некоторого значения, при котором создаются неустойчивые условия захвата материала. Наиболее благоприятный режим работы наступает при окружной скорости валков $\mathcal{G}_{\text{опт}} = 3 \dots 6$ м/с. Отсюда находим частоту вращения валков

$$n_{\text{опт}} = \frac{\mathcal{G}_{\text{опт}}}{\pi D} \quad (3)$$

Усилие в деталях валковой дробилки, это нагрузка, зависящая от многих факторов, может быть вычислена приближенно

$$P = \sigma_{\text{сж}} l \mu \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности материала при сжатии, Па; $l = \frac{D\alpha}{2}$ – длина дуги на участке измельчения материала, м; μ – коэффициент учитывающий степень разрыхленности материала (для прочных материалов $\mu = 0,2 \dots 0,3$).

Производительность дробилки при частоте вращения n

$$Q = 1,25 V n \mu = 1,25 \pi D L b n \mu \quad (5)$$

где 1,25 – коэффициент учитываемый возможность расхождения валков дробилки.

Для расчета мощности двигателя валковых дробилок можно воспользоваться линейной зависимостью от параметра $DL\mathcal{G}$, которая подтверждается данными машиностроительных предприятий

$$N_{ДВ} = (11...14)DL\vartheta \quad (6)$$

где $\vartheta = \pi Dn$ – окружная скорость валков, м/с.

С учетом кинематических особенностей предлагаемой схемы, что иллюстрируется рисунком 3, необходимо внести ряд дополнений в приведенную выше методику.

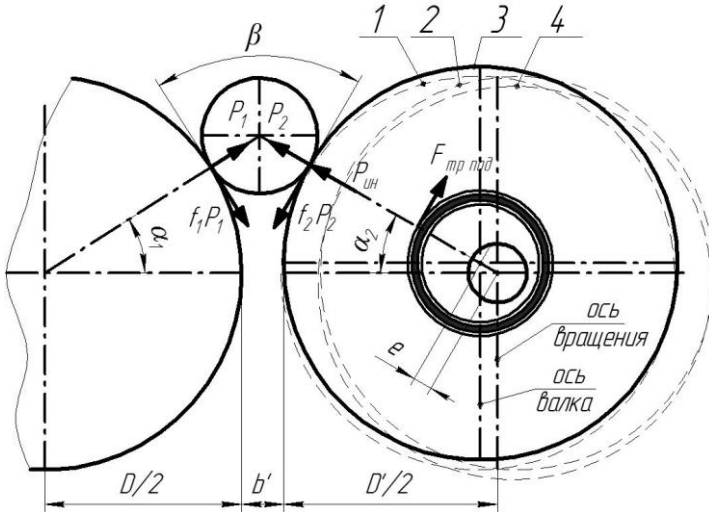


Рисунок 3 – Кинематические параметры вибровалковой дробилки

Положение подвижного валка: 1 – ширина выходной щели минимальна, 2 – ширина выходной щели максимальна, 3 – максимальное усилие сжатия частицы, 4 – минимальное усилие сжатия частицы

Задавшись некоторыми параметрами для проектирования вибровалкового измельчителя, проведем расчет ($D=0,2$ м, $L=0,2$ м, $b=0,001$ м, $e=0,002$ м, $n_{\text{рол}}=1500$ об/мин, материал – известняк средней твердости: плотность $\rho = 2630$ кг/м³, предел прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}} = 40...100$ МПа).

С учетом кинематической схемы (рис. 1) выведен следующий алгоритм определения параметров вибровалковой дробилки рисунком 4.

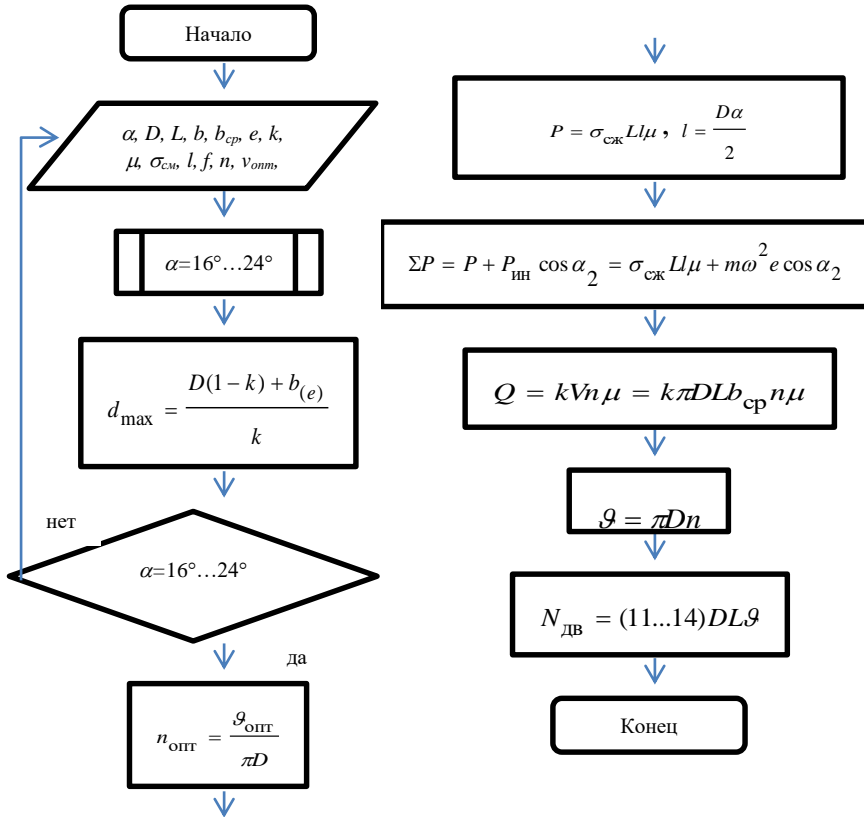


Рисунок 4 – Алгоритм определения параметров вибровалкового измельчителя

Где $P_{ин}$ – сила инерции от вала, возникающая при максимальном сжатии частицы материала $P_{ин} = m\omega^2 e$; $\omega = \frac{\pi n}{30}$ – угловая скорость, e – эксцентриситет; $F_{тр под}$ – сила трения возникающая в подшипниках; $b_{(e)}$ – ширина выходной щели в функции от e ($b_{min} = b$, $b_{max} = b + 2e$), м; k – коэффициент который учитывает

амплитуды колебаний, для предварительных расчетов принимаем $k = 1$;
 $b_{\text{ср}}$ – среднее значение ширины выходной щели.

Выполненные расчеты показывают, что вибровалковый измельчитель схож с валковыми машинами по производительности и энергоемкости. Обеспечение эксцентричного положения оси быстроходного вала позволяет увеличить объемное нагружение на частицы материала, при этом нагрузки на измельчаемый материал носят циклический характер, частицы материала подвергаются интенсивному истирающему воздействию, что приводит к повышению эффективности процесса измельчения и увеличению производительности измельчителя. На основе разработанной методики спроектирован опытный образец вибровалкового измельчителя.

Список литературы:

1. Ревнивцев В.И. Селективное измельчение минералов / В.И. Ревнивцев [и др.] М.: Недра, 1988. 286 с.
2. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.] – Минск Изд. Центр БГУ, 2008. 375 с.
3. Хайнике Г. Трибохимия / Г. Хайнике – М.: Мир, 1987. 584 с.
4. Поникаров И.И. Расчет машин и аппаратов химических производств и нефтепереработки (примеры и задачи): Учебное пособие / И.И. Поникаров, С.И. Поников, С.В. Рачковский. М.: Альфа-М, 2008. 720 с.: ил.
5. Богданов В.С. Процессы в производстве строительных материалов / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко, Белгород.: Вевелица, 2007. 512 с.

ПРУЖИННЫЙ ГРОХОТ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Белорусско-Российский университет

Толочинец И.М., аспирант
Барановичский государственный университет

Разделение по крупности влажных мелкозернистых материалов является важной технологической задачей для многих производств. Это связано с низкой удельной производительностью существующего оборудования и налипанием на просеивающие поверхности исходного материала. Одной из новых конструкций просеивателей для решения указанных проблем является пружинный грохот, в котором роль просеивающих поверхностей выполняют цилиндрические пружины, у которых зазор между их витками определяет границы разделения [1,2].

Выполненные ранее работы касались преимущественно пружинных грохотов малой производительности, конструкции которых состояли из небольшого числа пружинных рабочих органов [3]. Это не давало возможности проектировать высокопроизводительные агрегаты с многоуровневым расположением пружинных сит и решать вопросы их практического использования. В данной работе рассматривается конструкция пружинного грохота для возможного разделения гранитного отсева на мелкие фракции щебня, например, 2,5-5,0 мм по технологическим задачам ОАО «Гранит», г. Микашевичи Брестской области.

Конструкция пружинного грохота, опробованная в лабораторных условиях на просеве гранитной крошки, была представлена специалистам этого предприятия и по ней был высказан ряд критических замечаний. При этом все согласились с тем, что собственно пружинная просеивающая поверхность сомнений в эффективности и работоспособность не вызывает, а вот загрузка гранитного отсева при производительности линии 140 т/час является проблемной по причине большой производительности и образования наслоений этого материала на элементы конструкции в тракте загрузки. Это реалии производства, так как штабели отсева расположены на открытой площадке, а узел грохочения расположен только под навесом и от осадков разного рода полностью не защищен.

С учетом проведенных обсуждений нами разработана конструкция пружинного грохота общей вид которой представлен на рисунке 1, а

схема установки рабочих органов – на рисунке 2. Грохот включает в себя опорную раму 1, на которую посредством пружинных амортизаторов 3,4 устанавливается короб 2 с дебалансным вибратором 5, два его борта 6,7 образуют боковые стенки бункера 8 для приема горной массы, причем по бортам 6,7 короба 2 с его внешних сторон расположены лотки 9, 10 и 11, 12 соответственно для отвода из рабочих зон мелкой и крупной фракций после процесса разделения материала на пружинным просеивающих поверхностях 15. Для изменения границы разделения и компенсации износа витков пружин предусмотрены устройства 13 и 14 для регулирования межвитковых зазоров. Фиксированная установка пружин 15 в каждом из бортов 6,7 обеспечивается с помощью стержней 16, на которые они укладываются параллельными рядами и фиксируются устройствами 13,14.

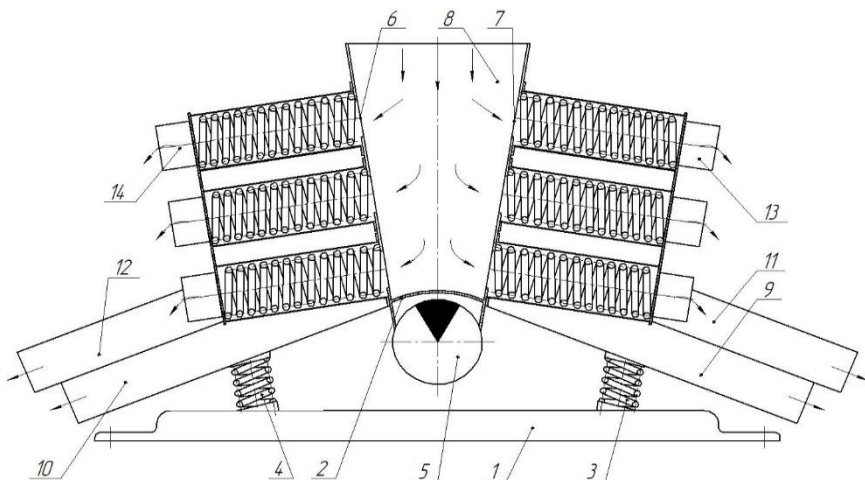


Рисунок 1 – Общий вид пружинного грохота

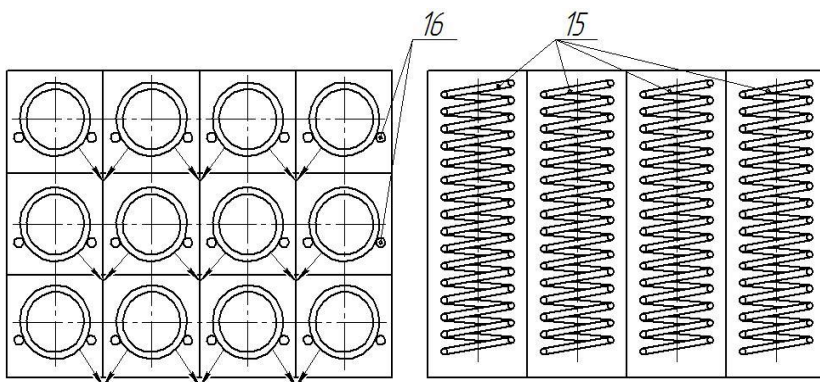


Рисунок 2 – Схема установки рабочих органов в пружинном грохоте

Перед началом работы грохота пружинные рабочие органы 15 регулируются на заданную границу разделения. Далее включается дебалансный вибратор 5 и за счет создаваемой им вынуждающей силы приводит в колебательные движения установленный на раме 1 посредством пружинных амортизаторов 3, 4 короб 2. Посредством механического питателя в бункер 8 подается гранитный отсев, который через окна на бортах 6, 7 поступает во внутренние полости вибрирующих пружин 15, где происходит его разделение на нужные фракции, причем мелкая фракция проходит между витками и сыпается на лотки 9, 10, а крупная проходит внутренние полости пружин и с их торцев выгружается на лотки 10, 11. Отсортированный таким образом материал поступает на соответствующие конвейеры и далее транспортируется к местам складывания.

В представленной конструкции грохота реализована многоуровневая схема установки пружинных просеивающих элементов, что позволяет повысить производительность установки и уменьшить ее габаритные размеры, в частности длину. К сожалению, пока в полной мере не решен вопрос с устранением образования наслоений сырьевой массы на стенках бункера, прорабатываются различные варианты, но окончательного решения пока не найдено.

Для сыпучих материалов, таких как сухие строительные смеси, пружинный грохот представленной конструкции может применяться без ограничений по упомянутым причинам. Параметры пружин для выполнения просеивающих органов по их верхним значениям ориентировочно можно принять следующими: наружный диаметр

$D=100-110$ мм, диаметр сечения витка пружины $d=7-9$ мм, длина пружина в рабочем положении $L=600-750$ мм, производительность на один рабочий орган – 0,1-5,0 т/час в зависимости от границы разделения и свойств просеиваемого материала.

Для некоторых технологических условий пружинный грохот может представить интерес как агрегат для предварительной сушки, воздушной очистки от пыли, оттирки крупки от налипшей мелочи и ряда других операций. Наличие пространственной формы просеивающих поверхностей и их разноуровневое расположение открывает новые конструктивные возможности в проектировании пружинных грохотов. Важнейшие задачи, которые возникают на пути проектирования эффективных пружинных грохотов для переработки влажных мелкозернистых материалов, сводятся к выбору оптимальных видов колебаний рабочего оборудования, организации строго управляемого движения разделяемого материала по рабочим зонам и создания надежных в эксплуатации и простых в обслуживании конструкций.

Список литературы:

1. Сиваченко Л.А. Интенсификация процессов тонкого грохочения влажных материалов / Л.А. Сиваченко, Н.В. Курочкин, Меж. вуз. сб. статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2011. С. 276-180.
2. Патент на изобретение РБ №9513 по заявке №20040918 от 07.10.2004. Аппарат для просеивания зернистых материалов, Авт. Сиваченко Л.А., Голушкова О.В., Гаврюшин С.С., Жуковский А.А., Опубл. 30.04.2006. Бюл. №4.
3. Сиваченко Л.А. Вибрационные пружинные грохоты: конструкция, расчет, технологическая эффективность / Л.А. Сиваченко, О.В. Голушкова. Препринт, Могилев, Бел.-Рос. ун-т, 2006.-42 С.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ С МНОГОЛЕЗВИЙНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Белорусско-Российский университет

Дерман Е.И., аспирант
Барановичский государственный университет

При конструировании измельчительного оборудования учитывается дисперсность, которую необходимо получить, размеры исходного материала, его механические свойства, температурные характеристики, реакционная способность и ее изменение при измельчении и ряд других показателей. Непременным условием промышленного процесса измельчения должна быть его экономичность, разумная длительность, простота устройства машины и надежность ее работы. Все многообразие требований привело к созданию самых разнообразных типов машин для измельчения [1].

Как в промышленности, так и в лабораторной практике все многообразие конструктивных решений аппаратов для измельчения сыпучих материалов можно разделить на несколько классов. Это аппараты ударного действия – роторные, молотковые, мельницы, дезинтеграторы и дисмембраторы, аппараты ударно-стирающего принципа действия – шаровые, планетарные, маятниковые, барабанные, вибрационные, аппараты раздавливающе-стирающего принципа действия – бегуны, дисковые, пружинные, валковые мельницы, жернова. Аппараты раскалывающе-срезающего принципа действия – колуны, пилы, фрезерные, зубчатые, ножевые мельницы.

На сегодняшний день при всем многообразии измельчительного оборудования довольно сложно подобрать универсальную конструкцию, способную измельчать как твердые, так и пластичные материалы, в том числе анизотропной структуры.

Из всего разнообразия особенно следует отметить роторно-ножевые дробилки ударного типа с многолезвийными рабочими органами.

Дробилки такого типа на примере конструкции, приведенной на рисунке 1, не требуя больших эксплуатационных затрат, значительно превосходят дробилки других конструкций по производительности.

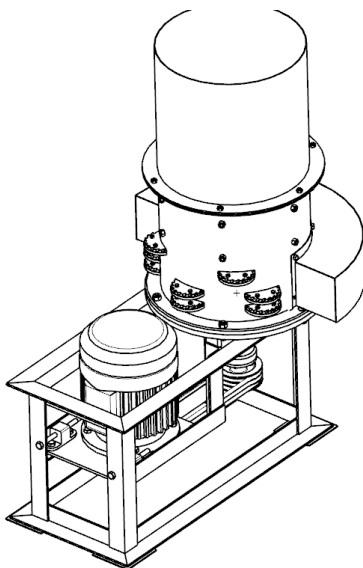


Рисунок 1 – Конструкция роторно-ножевой дробилки ударного типа с многолезвийными рабочими органами

Имея малую массу и габариты, они обладают высокой степенью измельчения и низкой энергоемкостью по сравнению с аппаратами аналогичного назначения, при этом во многом превосходят и дробилки с горизонтальным ротором за счет следующих факторов:

- материал движется в процессе дробления под силой тяжести сверху вниз, что уменьшает энергозатраты на его повторный подъем для доизмельчения;

- в вертикальных машинах происходит дробление свободным ударом;

- доизмельчение и смешивание одновременно нескольких компонентов приводит к механической активации, что способствует значительному увеличению химически активной поверхности;

Конструкции этих дробилок позволяют материалу свободно проходить через рабочие зоны под действием сил гравитации. Переработка материалов происходит свободным ударом, что эффективно для разрушения такого сырья, которое необходимо подвергать режущему действию.[2]

На рисунке 2 изображена конструктивная схема измельчителя, содержащего вертикально установленный двухсекционный корпус 1 с

секциями предварительного и окончательного измельчения, устройства для загрузки 2 и выгрузки 3 материала, ротор 4 с закрепленными на нем измельчающими элементами 5, неподвижными измельчающими элементами 6 и привод 7, причем в верхней секции корпуса на роторе смонтирована система элементов для предварительного измельчения, а в нижней секции на роторе смонтирована система элементов окончательного измельчения [3].

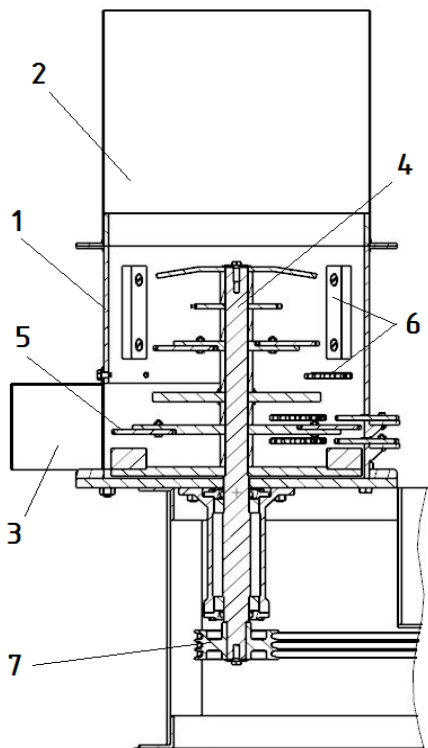


Рисунок 2 – Конструктивная схема дробилки с многолезвийными рабочими органами

1 – корпус; 2 – загрузочный бункер; 3 – выходной бункер; 4 – ротор;
5 – подвижные режущие элементы; 6 – неподвижные режущие элементы; 7 – привод

Конструкция измельчителя выполнена таким образом, что в ней реализуется преимущественно ударно-режущий механизм разрушения,

обеспечиваемый за счет большого числа режущих кромок и осуществления единичных актов измельчения путем динамического замыкания силовой пары «нож-отбойник» или «нож-нож». И особую роль при этом играет расположение режущих органов на роторе в виде конуса, дающий возможность увязать в единый непрерывный цикл движение продукта сверху вниз относительно рабочей камеры с одновременным его измельчением и отводом измельченной до требуемой крупности фракции материала.

Оснащение ротора многолезвийными режущими органами, в частности, дисковыми фрезами, в наилучшей степени служит исходным условием получения максимального количества единичных актов разрушения при максимальной их интенсивности. Важным положительным качеством, получаемым при оснащении измельчителей подобными режущими органами, является их простота, доступность в приобретении, высокая износостойкость, а также возможность в процессе их эксплуатации несколько раз переустанавливать в новое положение и, тем самым, продлевать срок работы без ухудшения качества измельчения.

Использование унифицированного рабочего инструмента, - зубчатых фрез, гарантирует более высокую степень готовности измельчителя для его практического использования, а возможность переустановок рабочих органов несомненно увеличивает работоспособность и износостойкость всей конструкции.

Важным технологическим качеством предлагаемого агрегата является также то, что в нем можно осуществлять приготовление сложных смесевых составов, производить механоактивацию исходных компонентов и селективное или избирательное измельчение различных материалов, что особенно актуально для обогащительных процессов.

Измельчитель ударного действия предложенной конструкции может найти широкое применение в качестве универсального агрегата многоцелевого назначения и способен перерабатывать различные материалы с высокой степенью измельчения.

Список литературы:

1. Ходаков Г.С. Физика измельчения. М.: Наука, 1972. 307с.
2. Сиваченко А.А., Кутырко Е. И. Молотковые измельчители с вертикальным ротором, их технологическая эффективность и пути развития / Матер. Междунар. науч. техн. конф. Интерстроймех – 2009, Бишкек, 2009 – с. 354-358

3. Патент на полезную модель РБ №7906. Измельчитель ударного действия, авт. Сиваченко А. А., Башарилова В. Н., Сиваченко Т. Л., Оpubл. 22.02.2012

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ЦЕПНЫМ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКИ ВЛАЖНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Реутский И.А., аспирант,
Ровский А.М., аспирант
Белорусско-Российский университет

Проведенные ранее исследования в области разработки цепных агрегатов [1, 2, 3] а также анализ вариантов движения цепных рабочих органов [4] сформировали необходимую основу для создания полноценной экспериментальной установки с цепным рабочим оборудованием для измельчения. Нами были выделены основные факторы, указанные на схеме установки (см. рисунок 1), влияющие на производительность установки: B – ширина рабочей камеры, h – высота рабочей камеры, $v1$ – скорость вращения измельчителя, $v2$ – скорость вращения кривошипа, a – амплитуда движения шатуна.

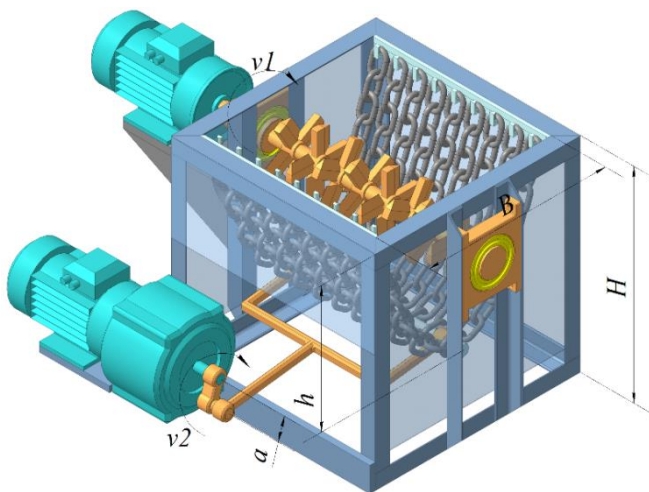


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки с цепным рабочим оборудованием

Заложив указанные регулируемые параметры в основу при проектировании, нами была изготовлена экспериментальная установка с цепным рабочим оборудованием, общий вид которой приведен на рисунке 2



Рисунок 2 – Экспериментальная установка с цепным рабочим оборудованием

В основе предстоящего эксперимента лежит гипотеза о низкой степени налипания влажного сырьевого материала на цепное рабочее оборудование, адаптивном характере поведения цепного рабочего оборудования, отсутствие забивания рабочей поверхности материалом, решении проблем с образованием комковых масс материала на поверхности цепного оборудования в процессе работы установки. Задача эксперимента заключается в определении степени влияния регулируемых параметров на производительность и энергоэффективность, на основании чего будут построены

соответствующие графики зависимостей, необходимые для создания математической модели и создания промышленных агрегатов.

Наряду с этим ведутся исследовательские работы и по вопросам предварительной сушки влажных материалах в комплексе с установкой с цепным рабочим оборудованием [3, 5]. Необходимые технологические процессы, связанные с предварительной сушкой и измельчением будут выполняться на соответствующем агрегате, экспериментальный образец которого приведен на рисунке 3.

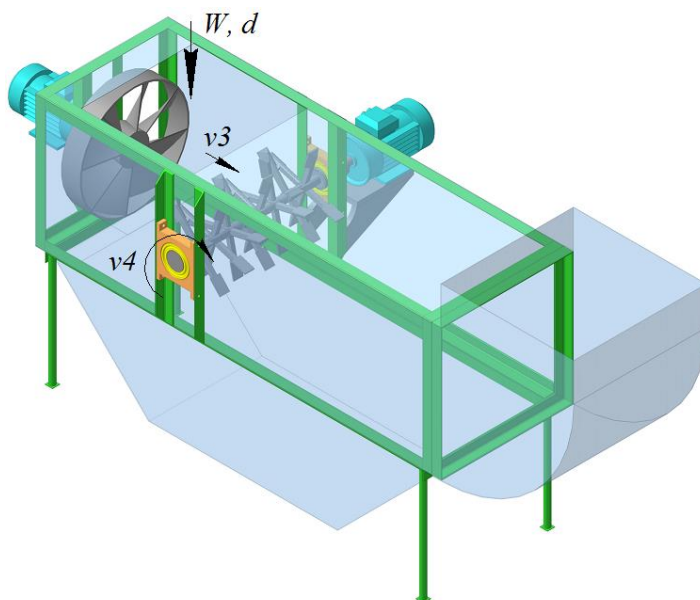


Рисунок 3 – Экспериментальный агрегат для предварительной сушки

В запланированном эксперименте на агрегате для предварительной сушки также были проанализированы факторы, влияющие на ход процесса подсушивания [5]. К ним отнесены: v_3 – скорость воздушного потока, v_4 – линейная скорость вращения измельчителя в воздушной камере, а также выходные характеристики материала, прошедшего измельчение в экспериментальной установке с цепным рабочим оборудованием, в частности, влажность материала W и средняя крупность частиц d . Описанные факторы будут оказывать решающее влияние на конечную влажность продукта и степень его измельчения в экспериментальном комплексе, на основании чего можно будет сделать

вывод об эффективности принципов «холодной сушки» [6], гипотеза которой лежит в основе агрегата для предварительного подсушивания. Опираясь на полученные экспериментальные данные будут сформулированы основные положения «холодной сушки» применительно к влажным сырьевым материалам, а также построены соответствующие графики влияния регулируемых параметров на конечные характеристики продукта, производительность и энергоэффективность установки для предварительной сушки.

Общий вид комплекса экспериментальной установки с цепным рабочим оборудованием и экспериментальным агрегатом для предварительной сушки влажного сырьевого материала будет иметь следующий вид (см. рисунок 4)

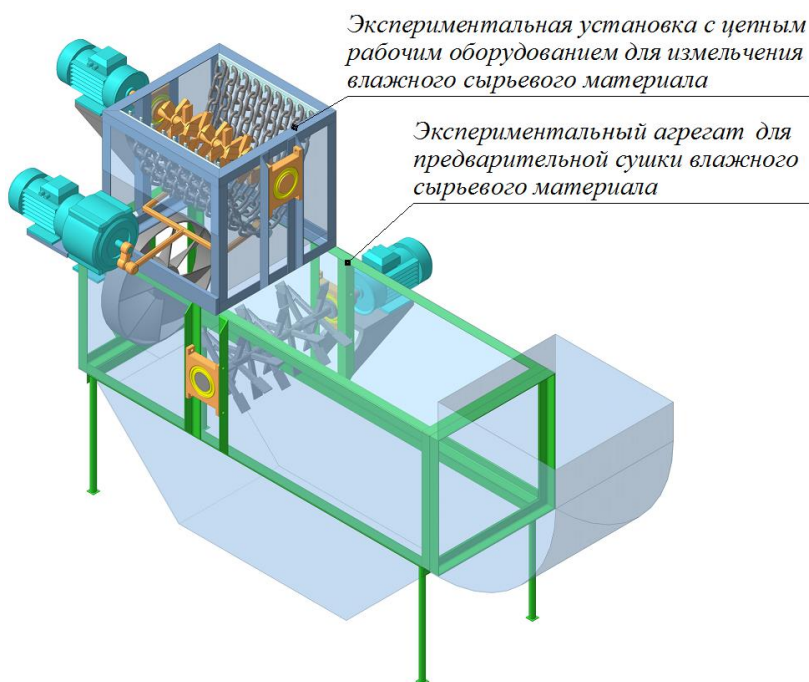
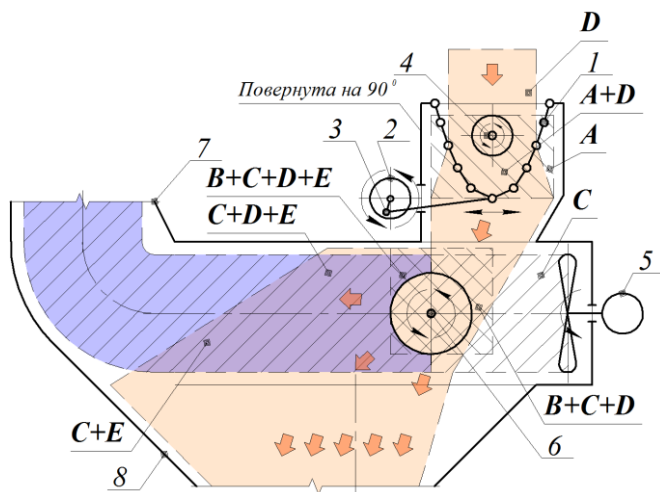


Рисунок 4 – Экспериментальная установка с цепным рабочим оборудованием для измельчения и предварительной сушки влажного сырьевого материала

Для пояснения технологической последовательности процессов, происходящих в экспериментальном комплексе, на рисунке 5 указаны движения основных потоков и зоны воздействия рабочего оборудования.



1 – цепное полотно, 2 – привод кривошипа, 3 – кривошипно-шатунный механизм, 4 – фрезерный измельчитель, 5 – воздуходувка, 6 – молотковый измельчитель, 7 – воздухоотводный канал, 8 – осадительная камера

Рисунок 5 – Схема комплекса для измельчения и предварительной сушки

Для упрощения восприятия, приведенной схемы на рисунке 5 экспериментальная установка с цепным рабочим оборудованием повернута на 90° , относительно агрегата для предварительной сушки. Для экспериментального комплекса характерно наличие следующих зон: **A** – рабочая зона цепного измельчителя, включающая в себя рабочие зоны цепного полотна и фрезерного измельчителя, **B** – рабочая зона молоткового измельчителя, **C** – зона воздушного потока, **D** – зона движения материала, **E** – зона влагуноса. Как видно из приведенной схемы, особый исследовательский интерес вызывают взаимодействие технологических процессов в пересеченных между собой зонах, таких как зона измельчения материала цепного измельчителя (**A+D**), зона измельчения и «холодной сушки» (**B+C+D+E**). Исследование законов и принципов приведенных комбинированных процессов представляет собой сложную задачу, которая даст возможность спроектировать простое по своей сути и энергоэффективное оборудование,

предназначенное для предварительной обработки влажного сырьевого материала, что в свою очередь позволит использовать менее энергоёмкое и более эффективное оборудование в последующих стадиях его переработки.

Список литературы:

1. Сиваченко Л.А. Цепной измельчитель влажных материалов / Л.А. Сиваченко, А.М. Ровский, И.А. Реутский / Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 2015. С.310-314.
2. Сиваченко Л.А. Комплект технологических агрегатов с цепным рабочим оборудованием для технологии продуктов первичного передела / Сиваченко Л.А., Ровский А.М., Реутский И.А. / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Белгород, 2015. С.310-316.
3. Сиваченко Л.А. Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л.А. Сиваченко, А.М. Ровский, И.А. Реутский / Вестник Белорусско-Российского университета. Могилев, 2016. № 1(50) с. 78-86.
4. Сиваченко Л.А. Анализ вариантов движения цепных рабочих органов технологических машин / Сиваченко Л.А., Ровский А.М., Реутский И.А. / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Белгород, 2015. С.293-296.
5. Сиваченко Л.А. Комплекс для измельчения и сушки влажного мела на основе цепного агрегата / Сиваченко Л.А., Реутский И.А., Ровский А.М. / Вибрация – 2016. Вибрационные технологии. Мехатроника и управляемые системы: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Том. 2, Курск, 2016. с. 265-270.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Белорусско-Российский университет

Сиваченко Т.Л., соискатель
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Национальная безопасность любой страны включает в себя целый ряд фундаментальных составляющих, прежде всего политическую, военную, энергетическую, экономическую, технологическую, ресурсную, образовательную, экологическую и другие.

Остановимся на рассмотрении энерготехнологической составляющей как основы современной стратегии устойчивого развития. Под этим определением будем понимать системный анализ, организацию, создание, функционирование и совершенствование методов, средств и систем создания новых материалов, технологий и продукции для обеспечения жизнедеятельности людей и государства в целом на условиях минимального энерго- и ресурсопотребления.

На основе анализа издержек и резервов существующих производств разработана технологическая версия развития. Ставим своей целью выявить только те составляющие путей интенсификации, которые, во-первых, являются действительно значимыми, во-вторых, ранее в достаточном объеме или вообще не были исследованы и, в-третьих, предложить методы решения этой глобальной задачи и выйти на путь устойчивого развития. Прогресс сегодня - это эффективный технологический уклад (ТУ) экономики, подчиненный основной цели - всемерному повышению уровня жизни народа и завоеванию достойного места в мире. Реализовано это может быть только при условии, что все инновационные, созидательные силы общества должны быть объединены общей генеральной идеей.

Современную экономику можно образно определить тем, что производится, тем как производится и тем как реализуется основная часть валового продукта. Технологическую структуру следует рассматривать на трех уровнях: микроуровень - постоянное обновление моделей продукции и совершенствование ее параметров; мезоуровень - происходящая с периодичностью примерно в 10 лет смена поколений техники, обновление активной части основных фондов, что лежит в

основе среднесрочных экономических циклов: макроуровень - развертывающаяся примерно раз в 50 лет смена лидирующих (ТУ) [1,2].

Мы можем завоевать высокое место в мире, но для начала требуется сделать следующее: консолидироваться, утвердиться в национальной идее, выработать программу развития. Дальнейшее продвижение к прогрессу будет очень трудным и долгим, очевидно, лет 50-60. А чтобы это стало возможным нам надо прирастить свой валовый внутренний совокупный продукт на величину заштрихованного треугольника (см. рис. 1). Иллюстративно это хорошо представлено. Линия развития умышленно дана без плавного перехода. Проекция этого перехода на временную ось - это и есть время зарождения и начала развития реформ. Самое главное - найти ресурсы для преобразования самосознания людей и развития экономики.

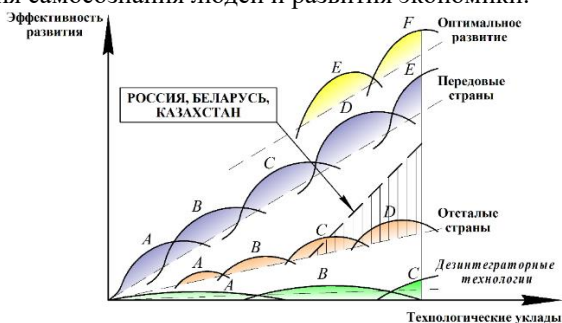


Рисунок 1 – Графическая модель смены технологических укладов

21 век приведет к изменению всей геоэкономической структуры в мире. Ресурсы, которые мы можем использовать, требуют рачительного и дифференцированного использования. Главным резервом снижения издержек общества является совершенствование производств, осуществляющих комплексную переработку веществ и получающих продукты, используемые для удовлетворения техногенных и бытовых потребностей - это цементные и горнообогатительные комбинаты, кирпичные и силикатные заводы, комплексы по производству химического сырья, удобрений, строительных материалов и изделий, бумаги, новых композиционных материалов, твердого топлива, боеприпасов, пищевых продуктов, регенерации промышленных и бытовых отходов и т.д.

Сейчас на эти цели расходуется до 50-55% всей вырабатываемой электроэнергии и 35-38% всех остальных видов

энергоресурсов. [6] Доля эта будет неуклонно вырастать. Дефицит энергии, острейшие экологические проблемы, ухудшение здоровья людей, нехватка производственных возможностей делают эту область наиболее отсталой и запущенной. Следует признать, что основные идеи, заложенные в технологии переработки сырья и материалов, разработаны еще в XIX веке [4,5].

Организация нового ТУ должна строиться не на производстве отдельных изделий или машин, а на выпуске самых совершенных технологических комплексов. Сейчас технологическая ниша, связанная с созданием высокоэффективных технологий и оборудований для переработки веществ, остается потенциально свободной и ее освоение для нас не только реально, но и жизненно необходимо для обеспечения своих внутренних потребностей и расширения экспорта.

Для осуществления нашей промышленностью качественного скачка необходимо решить задачу объединения технологий, уже освоенных передовыми отраслями, с технологиями машиностроения и приборостроения.

Генеральной линией технологической промышленной революции является формула «сырье – искомый материал – технология – базовое оборудование – компоновочные решения предприятия – кадры – система управления – сбыт» – инновации. Перевооружение предприятий требует самой тесной связи с сырьевой базой, технологиями, оборудованием, проектно – компоновочными решениями, системой управления, квалифицированными кадрами. Это системная проблема и решаться она должна в комплексе. [4,7–9]

В рамках рассматриваемой проблемы следует особо выделить две группы существующих технологий: макротехнологии и микро (нанотехнологии). Макротехнологии связаны с переработкой огромных количеств материалов и применением очень крупных машин. Они определяют общий уровень затрат и является головными стадиями промышленного производства. Их сущность на примере технологических машин раскрыта ранее.

Для успешного инновационного развития становится все более очевидным, что решение такой масштабной задачи фрагментарными мерами невозможно. Суть современного этапа развития заключается не в проведении эволюционных изменений, а в смене технологических укладов [10], которые можно относить в разных отраслях к разным уровням. Например, в дезинтеграторных технологиях это II технологический уклад. Даже в последнем случае это не только

чрезвычайно сложная, но и очень важная задача, требующая выработки особой стратегии.

Изложенный выше анализ состояния ряда промышленных технологий производства многих видов сырья и материалов убедительно показывает, что они не только очень затратны, но и крайне несовершенны. Естественно, что при этом возникает двойной риторический вопрос: “Чем обусловлено такое состояние и что делать?”.

Частный ответ на первую часть вопроса был дан в статье [1]. В его основе лежит исторический парадокс технологического развития, связанный с особенностями экономики того периода и корпоративным эгоизмом фирм – производителей оборудования. Ответ на вторую часть вопроса является чрезвычайно сложным и не может быть однозначным. По сути это целый комплекс взаимосвязанных положений, оценок и предложений. Изложим его в авторской реакции.

Основное внимание в этом ответе к себе требует правильное понимание состояния вопроса. Его исходную основу составляет материаловедение, которое определяет алгоритм действий и включает в себя последовательность следующего приоритета: сырье – технологии – базовое оборудование – технологический комплекс – производственная структура – готовый продукт. За этой простой с виду цепочкой функциональных операций кроется сложнейший механизм, требующий учета всех явлений и закономерностей.

Кардинально решить проблему энергосбережения, особенно при проведении дезинтеграторных переделов и тепловых процессов можно только путем совершенствования технологий и вывода их на мировой уровень. Правильное понимание методов решения этой проблемы может дать разработка энерготехнологической концепции. Некоторые её положения изложены в работе [5].

Сформулируем структуру энерготехнологической концепции (ЭТК). По сути это усовершенствованная методология, часть которая хорошо знакома, специалистам. Принципиально новым здесь является вскрытие таких резервов развития производства, которые ранее не рассматривались, а также их межотраслевой анализ в системный учет. Поднять её на уровень широкого обсуждения необходимо для привлечения к участию молодых ученых и инженеров в решении проблемы. Структура ЭТК приведена на рисунке 2.

Внедрение новых способов и оборудования потенциально позволит получить огромную выгоду по многим составляющим на предприятиях, где используются, прежде всего, крупнотоннажные переделы. Итоговый

результат перевооружения технологий будет зависеть от создания базовых агрегатов, способных заменить существующие. Здесь два сценария событий. Первый – традиционный, основанный на принципах рационализации при модернизации всей системы. Второй – директивное решение проблем путем создания единого центра управления, выработки стратегии и разработки механизмов её реализации.



Рисунок 2 – Структура энерготехнологической концепции

Представленная информация позволяет сделать целый ряд выводов и предложений. Прежде всего, необходимо озвучить основные цифры, относящиеся к потенциалу энергосбережения в технологическом секторе промышленности. Это минимум 15% всей электроэнергии и 5% топлива. [5] Эти цифры могут возрасти, причем по электроэнергии значительно, но такую оценку должны дать специалисты соответствующих профилей.

Устойчивое развитие нашего государства возможно только на основе оптимального планирования и использования всех имеющихся возможностей и резервов. Проведенный анализ потенциалов энергосбережения в промышленности показывает, что в сфере переработки материалов он составляет только в натуральном виде не менее 15% от всех потребляемых энергоресурсов. [1–6,8] Их основу составляют дезинтеграторные технологии. Вне всяких сомнений экономика Казахстана имеет огромные резервы и их следует реализовывать, но для этого требуется межотраслевой анализ по всем направлениям, особенно с использованием тепловых процессов.

Энерготехнологическая концепция национальной безопасности опирается на опыт исторического развития техники и технологий, но главный акцент в ней сделан на поиск потенциальных возможностей повышения эффективности промышленного производства. По своей

значимости это направление сопоставимо, например, с автомобилестроением [3], а его успешная реализация позволит вывести на более высокий уровень многие отрасли народного хозяйства. И если в нанотехнологиях мы, прежде всего, догоняем, то здесь, т.е. в макротехнологиях, мы имеем реальную возможность вырваться вперед и самим быть лидерами.

Базой в реализации энерготехнологической концепции является накопленный, но мало реализуемый интеллектуальный потенциал и значительные наработки отечественных ученых и специалистов, объединив которые можно сделать технологический прорыв. Роль лидера в реализации перевооружения технологических комплексов должна принадлежать государству.

Создание современной технологической базы промышленности – сложнейшая задача, её решение потребует длительного времени и больших средств, но выбор у нас невелик. Представляется, что разработанная концепция является жизнеспособной и может представить значительный интерес для государственного развития и формирования новой отрасли – технологического машиностроения.

Список литературы:

1. Сиваченко Л.А. Современное технологическое машиностроение. Основные положения /Л.А. Сиваченко //Инженер – механик. 2010. №4 С. 10 – 20.
2. Сиваченко Л.А. Технологическое машиностроение стратегический резерв развития промышленности Беларуси /Л.А. Сиваченко //Вестник Бел. Рос. ун–та, №3, 2011, С. 126 – 130.
3. Сиваченко Л.А. Технологическая концепция современной промышленной революции /Науч. теор. журнал Вестник БГТУ им В.Г. Шухова, Белгород, 2007, №1, С. 94 – 102.
4. Сиваченко Л.А. Измельчение – основное звено энерготехнологической концепции национальной безопасности //Матер. междунар. науч. техн. конф. Интерстроймех – 2010, Белгород, Том 2, С. 121 – 127.
5. Сиваченко Л.А. Механизм экономии топливно – энергетических ресурсов в строительной промышленности /Л.А. Сиваченко, Т.В. Романькова. //Матер. V международной науч. техн. конф. Механики XXI веку, БрГУ – Братск, 2006, С. 134 – 137.
6. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия /Л.А. Сиваченко [и др.]. Минск, Изд. центр БГУ, 2008 – 375с.
7. Сиваченко Л.А. Пути развития современного технологического машиностроения /Л.А. Сиваченко //Матер. междунар. науч. практ. конф. Инновационные материалы и технологии. Белгород, БГТУ, 2011,

- С. 126 – 130.
8. О создании межотраслевых научно – технических комплексов (МНТК) [электронный ресурс]: постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 декабря 1985г., №1230. М.1985.
 9. Слонимский А.А. Научный потенциал и проблемы трансформации технологической структуры Республики Беларусь /Л.А. Слонимский //Изд. БИА. 1996. №1., С. 30 – 38.
 10. Сиваченко Л.А. Основные положения совершенствования дезинтеграторных технологий / Л.А. Сиваченко // Вестник Бел. Рос. ун-та, №4, 2011, С. 95 – 106.
 11. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2009., Минск, Белстат. 2010, 582 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СТЕКЛОБОЯ

**Тимофеев В.А., магистрант,
Шаталов А.В., канд. техн. наук, доц.,
Шаталов В.А., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

С целью исследования процесса измельчения стеклобоя и технологических схем на его основе [1,3] нами был проведен комплексный системный анализ, заключающийся в рассмотрении протекающих при этом процессов, определении различных вариантов их аппаратурно-технологического оформления, выдаче рекомендаций по рациональной организации процессов, а также определении оптимальных конструктивных и режимных параметров технологических установок.

При разработке теоретических основ постадийного измельчения материалов важное место занимает математическое описание кинетики процесса измельчения, которая характеризует скорость процесса измельчения. Анализ кривых кинетики измельчения позволяет установить важнейшие характеристики процесса помола при различных схемах организации технологического процесса [2,4].

В настоящее время существует два основных подхода, посвященных математическому описанию кинетики процесса измельчения. Первый основан на составлении балансных уравнений относительно количества каждой фракции в размалываемом материале и введении двух функций, одна из которых характеризует относительную скорость измельчения (селективная), а другая – распределительная – гранулометрический состав продукта. Второй подход основан на описании изменения во времени одного из показателей дисперсности по аналогии с формальными химическими реакциями.

Несмотря на многообразие исследований по разработке моделей по первому подходу, методика расчета по ним пока сложна и требует проведения большого числа экспериментов. Поэтому возьмем за основу второй подход.

При изучении зависимости $\sum R_i = f(t)$ (рис.1) видно, что она носит экспоненциальный вид и характеризуется константой скорости

измельчения, определяемой как тангенс угла $-\varphi$ наклона касательной (проведенной к кривой кинетики измельчения в различных её точках) к оси абсцисс, и описывается уравнением:

$$R_t = R_0 e^{Kt^m} = R_0 e^{-(t/t_0)^m}, \quad (1)$$

где R_0 , R_t содержание крупной фракции, соответственно, в исходном и конечном (к моменту времени t) продукте; m , k , t_0 – параметры уравнений, определяющие характер зависимости; t – продолжительность измельчения, мин.

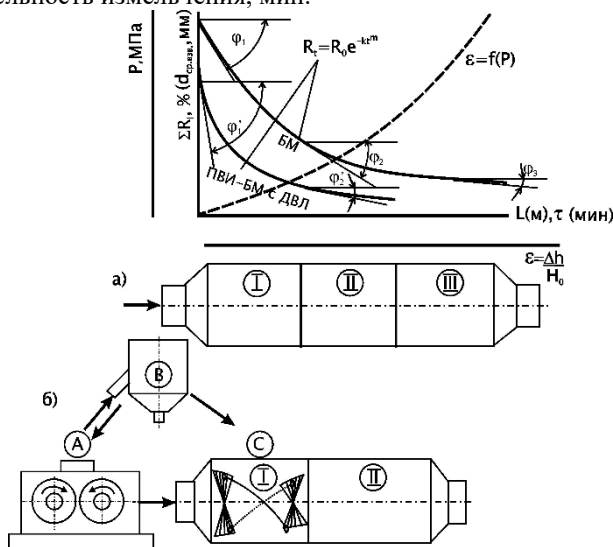


Рисунок 1 – Кинетика постадийного измельчения материалов в помольном комплексе.

Для определения констант скорости измельчения процесс измельчения в помольном комплексе: ПВИ (замкнутый цикл) – БМ с ДВУ, можно разложить на стадии: последовательный $A \rightarrow B, B \rightarrow C$ и обратный $A \leftarrow B$, тогда уравнение (1) запишется как:

$$R = 1 / \left(\frac{k_n}{k_o} + 1 \right) + \left(R_0 - 1 / \left(\frac{k_n}{k_o} + 1 \right) \right) e^{-(k_n + k_o)\tau}, \quad (2)$$

где k_o и k_n - величины констант скорости измельчения, соответственно для обратного и последовательного процесса.

Величины констант скорости измельчения могут быть получены по следующим формулам:

для процесса $A \rightarrow B$.

$$k_o = -1/\tau(k_r + 1) \cdot \ln \frac{R_B}{R_0}; \quad (3)$$

для процесса $A \rightarrow B, B \rightarrow C$

$$k_A = -1/\tau_A \cdot \ln \frac{R_A}{R_0}, \quad (4)$$

$$k_B = -1/\tau_B \cdot \ln \frac{R_C}{R_B}. \quad (5)$$

Численные значения констант могут служить комплексным критерием характера протекания процесса измельчения. Их зависимость от основных параметров ведения процесса позволит определить их оптимальные значения.

Таким образом, данный подход позволяет рассмотреть процесс измельчения материалов по отдельным стадиям, определить рациональные условия их измельчения во всем интервале изменения дисперсности, а также подтверждает возможность организации различных технологических схем помола.

Список литературы:

1. Шаталов А.В., Гордеев М.В. Энергосберегающий помольный комплекс // Передовые технологии в промышленности и строительстве на пороге XXI века: Сб. докл. Междунар. конф.- шк.- сем. молод. учён. и асп.- Белгород: изд-во БелГТАСМ, 1998. Ч.2. С.567-569.
2. Севостьянов В.С., Гончаров А.А. Барабанные мельницы с винтовыми энергообменными устройствами. // Стекло и керамика. 1990г. №10. С.8-10.
3. Шаталов А.В., Дубинин Н.Н., Шевляков В.И. Энергосберегающий помольный комплекс // Экология и рациональное природопользование как фактор устойчивого развития: Сб. докл. Междунар. науч. -техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. С. 363-366.
4. Романович А.А. Исследование процесса предуплотнения анизотропных материалов в пресс-валковом измельчителе / А.А. Романович // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 56–60.

ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ ОСТЕКЛЕНИИ

Тихомирова Т.И., канд. техн. наук, доц.,

Щетинина И.А., канд. техн. наук, доц.,

Щетинин Н.А., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время вопросам энергосбережения и более рационального использования энергии уделяется все большее внимание. Это связано с удорожанием энергоресурсов и, соответственно, затрат на отопление зданий и сооружений.

Данные экспертных оценок утверждают тот факт, что в наших зданиях сегодня теряется до 40% поступающих в них энергоресурсов. Это приводит к большим расходам энергопотребления на отопление. Анализ потребления тепла показывает, что в зданиях средней полосы России на нужды отопления и горячего водоснабжения расходуется в 3 раза больше условного топлива на один квадратный метр площади, чем, в Швеции.

Энергосбережение, определяемое на основе теплового баланса здания, в жилом фонде может достигать 40% за счет утепления ограждающих конструкций, модернизации оконных и дверных заполнений. Это адекватно экономии 15% от всей выработанной в стране энергии.

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций в настоящее время нормируется СНИП 11-3-79 с изменениями, утвержденными постановлением Госстроя России от 19 января 1998 г. Более жесткие требования заложены в действующих ныне Московских Городских Строительных Нормах (МГСН). В соответствии с МГСН 2.01-94 «приведенное сопротивление теплопередаче R_0 должно быть не менее 0,55 (м² 0С)/Вт для окон и балконных дверей в жилых зданиях и 0,43 (м² 0С)/Вт в общественных зданиях» для г. Москвы.

Один из наиболее эффективных способов снижения теплопотерь - применение энергоэффективного остекления. Его теплосберегающие свойства во многом зависят от стекла, которое применяется в стеклопакетах.

Особенно важно повышение термического сопротивления оконных блоков путем применения новых материалов и более совершенных конструкций окон, использования стеклопакетов, установки эффективных

уплотнений, использования энергосберегающих стекол, и специальных для них покрытий.

На основании оптических свойств стекол известно, что у поверхности любого стекла есть излучательная способность, которая определяет зависимость количества отражаемого тепла. Основной показатель, характеризующий способность стекла отражать тепловое излучение, - это его излучающая способность (E), которая называется коэффициентом эмиссии. Обычные стекла имеют коэффициент эмиссии 0.83, а у низкоэмиссионных он может достигать до 0.03, причем более 90% накопленного тепла отражается назад в помещение. Таким образом, чем меньше будет коэффициент эмиссии, тем более эффективно материал отражает тепло, а значит, тем выше его теплосберегающие свойства. Таким образом, использование низкоэмиссионных стекол в стеклопакетах приводит к энергосбережению.

Один из наиболее эффективных способов снижения теплопотерь - применение энергоэффективного остекления. Его теплосберегающие свойства во многом зависят от стекла, которое применяется в стеклопакетах. При этом рекомендуется использование специальных стеклопакетов, в которых одно из стекол является теплосберегающим. Обычные стекла имеют коэффициент эмиссии 0.83, а у низкоэмиссионных он может достигать до 0.03, причем более 90% накопленного тепла отражается назад в помещение. Таким образом, чем меньше будет коэффициент эмиссии, тем более эффективно материал отражает тепло, а значит, тем выше его теплосберегающие свойства. Таким образом, использование низкоэмиссионных стекол в стеклопакетах приводит к энергосбережению. К тому же у низкоэмиссионных стекол высокое светопропускание и прозрачность, в то же время они обеспечивают весьма высокие показатели коэффициента теплоизоляции, поскольку отражают тепловую энергию назад в помещение. Вследствие их прозрачности солнечный свет проникает внутрь помещения, а тепло, аккумулированное внутри помещения, отражается внутрь помещения. Вследствие такой избирательности стекло с низкоэмиссионным покрытием также является селективным. То есть, если обыкновенное стекло излучает накопленную им энергию с одинаковой интенсивностью как внутрь помещения, так и наружу, что приводит к потере тепла, то у низкоэмиссионного стекла интенсивность излучения наружу падает во много раз, а значит, уменьшаются теплопотери.

Варьируя толщиной окисла, видом металла и степенью

насыщенности поверхности, можно изменять такие характеристики, как (в определенных пределах). Получаемые таким способом покрытия очень прочны, почему их и называют «твердыми», а стекла с таким покрытием – К-стеклами. У К-стекла коэффициент эмиссии снижен до 0,2, что позволяет снизить тепловое излучение (а, значит, и теплопотери) в 4–4,5 раз.

Для производства низкоэмиссионного стекла используются два типа покрытия, которые принципиально различаются по технологии нанесения: «твердое» и «мягкое». "Твердое покрытие" изготавливается на основе оксида олова и наносится на одной из стадий производства флоат-стекла с помощью химической реакции пиролиза, когда слой оксида олова осаждается на поверхность горячего стекла, образуя крепкое и прочное металлическое прозрачное покрытие. Для нанесения на готовое флоат-стекло «мягкого покрытия» на основе серебра используется вакуумное напыление.

Кроме того, у К-стекла низкоэмиссионное покрытие обращено в сторону межстекольного пространства. Что приводит к нагреванию внутренней поверхности стекла и к уменьшению конденсации влаги, вызванное разностью температур. I-стекло по техническим характеристикам превосходит К. Твердое покрытие позволяет сохранить в помещении примерно 70% теплового потока, падающего на окно, мягкое – до 90% и даже больше. За счет более высоких энергосберегающих свойств i-стекла дает возможность отказаться от двухкамерного стеклопакета, ограничившись однокамерным, что в значительной мере облегчает его конструкцию. что при использовании энергосберегающих стекол экономия энергии в помещениях возможна не только благодаря защите от потерь тепла, но и за счет снижения потерь на кондиционирование, которые порой превосходят расходы на отопление в 2-3 раза.

Однако за счет экономии энергоносителей дополнительные вложения окупаются в течение 1,5-2 лет. Кроме того существует целый ряд факторов в пользу низкоэмиссионных стекол. Благодаря снижению веса стеклопакета, удастся сохранить геометрию окна и снять проблему долговечности фурнитурных элементов в оконном переплете.

Таким образом, установка стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом, позволит создать комфортные условия в помещении и обеспечить энергосбережение

Список литература

1. Тихомирова Т.И., Щетинина И.А., Губарева В.В. Определение рациональных параметров отжига стеклоизделий при проектировании лееров. Вестник БГТУ. Материалы Международной научно-практической конференции «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» № 11 С. 433-435. 2005
2. СНиП П-3-79. Строительная теплотехника. Прил.4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ НА ДЕЗАГРЕГАЦИЮ ЧАСТИЦ ПРИ ВОЗДУШНОЙ СЕПАРАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

Трофимченко В.Н., аспирант,

Мордовская О.С., канд. техн. наук, доц.,

Ханин С.И., канд. техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Одним из направлений повышения эффективности сепарации порошкообразных материалов является снижение количества тонкомолотого продукта в возвращаемой на домол крупке. Наличие в крупке частиц готового продукта приводит к снижению эффективности работы помольного комплекса в целом, в том числе за счет увеличения демпфирующего эффекта при взаимодействии мелющих тел с материалом [1]. Так, одной из основных причин возврата тонкомолотого продукта на домол является агрегация частиц готового продукта. Процесс агрегации особенно характерен для тонкодисперсных частиц, а также материалов склонных к агрегации. Одним из способов снижения количества агрегатов может быть дезагрегация частиц механическим способом. При этом важнейшим параметром, который позволяет оценить эффективность этого способа, является энергия, необходимая для разрушения агрегатов частиц. В связи с этим вопрос определения затрат энергии на дезагрегацию частиц при сепарации порошкообразных материалов является важным и актуальным. Процессу тонкого помола в строительной индустрии ежегодно подвергаются сотни миллионов тонн различных материалов. В настоящее время помол материалов в замкнутом цикле, с использованием мельницы в комплексе с сепаратором, является наиболее эффективным. Существуют различные помольные комплексы, обеспечивающие диспергирование материалов в соответствии с требованиями производств. Одним из основных критериев их работы является получение материала требуемого гранулометрического состава при минимальных энергозатратах. В связи с этим возрастает значение процесса отделения готового продукта из поступающего в сепаратор материала.

Одним из распространённых методов оценки эффективности сепарации порошкообразных материалов является кривая Тромпа. Основанные на этом методе графические зависимости для трех поколений сепараторов (рисунок 1) приводятся в работе [2]. Важным

параметром этого метода является уровень байпаса, он характеризует количество тонкого (готового) продукта возвращаемого на домол в мельницу. Соответственно чем ниже уровень байпаса, тем эффективнее происходит сепарация. Так, М. Кларк указывает, что причиной высокого уровня байпаса являются очень мелкие частицы, которые, агрегируя, попадают в крупку и возвращаются в мельницу в виде агрегатов [3]. Учитывая это, можно заключить, что снижение количества агрегатов в крупке способствует повышению качества и эффективности сепарации. Это также снижает энергозатраты на помол. Для изучения вопроса эффективной дезагрегации материалов при сепарации возникает необходимость в определении затрат энергии для разрушения агрегатов.

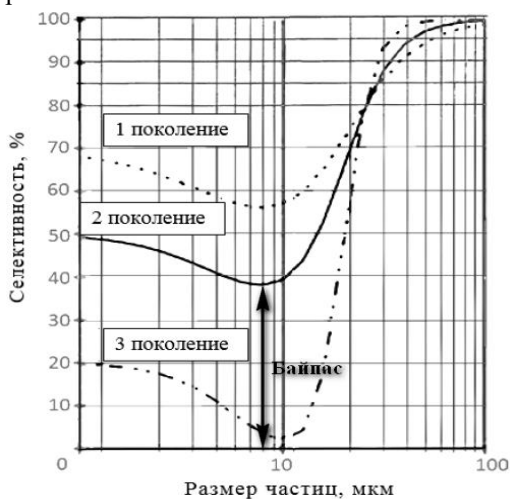


Рисунок 1 – Кривые Тромпа сепараторов различных поколений

Существует методика для определения затрат энергии на дезагрегацию дисперсных частиц, которая позволяет найти величину энергии, необходимой для разрушения агрегатов при мокром измельчении в аппарате роторно-пульсационного типа [4]. Приведенная методика для определения энергии дезагрегации применима только при измельчении в жидкой среде. Как известно, для сепарации при сухом помоле используется газообразная среда. Поэтому исследование агрегатов и энергии, необходимой для разрушения связей образующих их частиц, является актуальной задачей.

Для изучения характера агрегации частиц мергелевой муки, применяемой в производстве цемента, было выполнено микроскопическое исследование проб отобранных из частных остатков сит. Подготовка проб для микроскопии выполнялась по методике описанной Коузovým П.А. и Скрыбиной Л.Я. [5]. Использовались сита с размером ячейки сетки (ГОСТ3584-73) 0,315 мм; 0,200 мм; 0,125 мм. Были отобраны две фракции: $-200...+125$ мкм и $-315...+200$ мкм. Для исследования использовался сканирующий электронный микроскоп высокого расширения TESCAN MIRA 3 LMU. Для более детального изучения рассматривались частицы размером от 315 мкм до 2 мкм. В основу определения затрат энергии E_d на дезагрегацию частиц использовалось выражение, описанное в работе [3]:

$$E_d = i\sigma_{\tau-\Gamma} / 3 \cdot V(S_k - S_n), \quad (1)$$

где i – степень дезагрегации;

$\sigma_{\tau-\Gamma}$ – поверхностное натяжение на границе «агрегат – газообразная среда», Дж/м²;

S_n – удельная площадь поверхности частиц до дезагрегации, м²/м³;

S_k – удельная площадь поверхности частиц после дезагрегации частиц, м²/м³;

V – объем частиц, м³.

Необходимо отметить, что определения поясняющих выражение (1) терминов отличаются от приведенных в работе. Так для показателя i вместо степени измельчения используем степень дезагрегации; для показателя σ вместо поверхностное натяжение на границе «измельчаемые частицы – газообразная среда» – поверхностное натяжение на границе «агрегат – газообразная среда»; для S_n и S_k – удельные площади поверхности частиц до и после измельчения соответственно заменяем на удельные площади поверхности частиц до и после дезагрегации.

Возвращаясь к микроскопическому исследованию частиц, стоит еще раз обратиться к кривой Тромпа. Так, для всех трех поколений сепараторов характерным является рост количества частиц менее 10 мкм, которые возвращаются на домол в мельницу в виде крупки. Другими словами можно сказать, что частицы не были отсепарированы. Необходимо отметить, что согласно приведенной кривой для самых эффективных сепараторов третьего поколения, 20% частиц размером менее 1 мкм, являясь тонким продуктом, отправляются на повторный домол вместе с крупкой. Для сепараторов первого поколения эта величина составляет 70%. Таким образом, можно сделать вывод, что

частицы именно этой фракции действительно подвергаются агрегации в большей степени. В дальнейшем это приводит к их попаданию в крупку. Подтверждением этому выводу служат снимки, выполненные с различным увеличением, при исследовании частиц молотого мергеля на микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU. На рисунке 2 приведены три снимка частицы из фракции $-200...+125$ мкм.

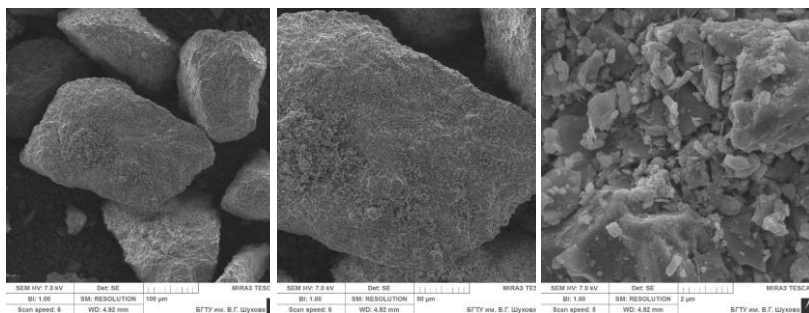


Рисунок 2 – Снимки частицы на микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU (масштаб 100, 50, 2 мкм соответственно)

Снимок справа дает представление о характере агрегации частиц. Частицы, в основном размером менее 3 мкм, агрегируют с крупной частицей, покрывая ее поверхность. Размер крупной частицы составляет около 200 мкм. Нужно отметить, что на снимках заметно и взаимодействие нескольких частиц размером менее 3 мкм, расположенных на поверхности крупной частицы. В ходе микроскопического исследования были исследованы агрегаты частиц каждой из рассматриваемых фракций. Характер их агрегации аналогичен правому снимку на рисунке 2.

Для определения затрат энергии на дезагрегацию частиц при сепарации, необходимо определить поверхностное натяжение на границе «агрегат – газообразная среда». В качестве окружающей среды при сепарации выступает технологический воздух, поэтому возникает необходимость в определении поверхностного натяжения между материалом и газообразной средой (воздухом) $\sigma_{т-г}$. Согласно [6] его значение можно определить, используя выражение (2):

$$\sigma_{т-г} = \sigma_{т-ж} + \sigma_{ж-г} \quad (2)$$

Для определения поверхностного натяжения $\sigma_{т-ж}$ на границе агрегат - жидкость, при нормальных условиях был выполнен эксперимент, описанный в работе [7]. В эксперименте использовался

материал указанных фракций, в качестве смачивающей жидкости применялась дистиллированная вода ГОСТ 6709-67. Так, для фракции – 200...+125 мкм значение $\sigma_{т-ж}$ составило $53 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², для фракции – 315...+200 мкм – $62 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Величина второго слагаемого выражения (2) $\sigma_{ж-г}$ для воды на границе с воздухом является известным значением и при температуре 293 К составляет $73 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Таким образом, искомое значение поверхностного натяжения $\sigma_{т-г}$ для фракции – 200...+125 мкм составляет $126 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², а для фракции – 315...+200 мкм – $135 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Для определения энергии на дезагрегацию частиц фракции – 200...+125 мкм объемом 0,015 м³, согласно (1), примем что необходимо произвести дезагрегацию с $S_n = 4700$ м²/ м³ до $S_k = 5000$ м²/ м³. Степень дезагрегации i определим через отношение удельной площади поверхности частиц после дезагрегации к удельной площади поверхности частиц до дезагрегации. Подставляя значения в выражение, получим:

$$E_d = \frac{1}{3} \cdot 1,0638 \cdot 126 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015 \cdot (5000 - 4700) = 201 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Для определения энергии на дезагрегацию частиц фракции +200 мкм - 315 мкм тем же объемом, согласно (1), примем что необходимо произвести дезагрегацию с $S_n=1400$ м²/ м³ до с $S_k=1489$ м²/ м³, значения выбраны с учетом получения одинаковых значений i для разных фракций. Подставляя значения в выражение (1), получим:

$$E_d = \frac{1}{3} \cdot 1,0638 \cdot 135 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015 \cdot (1489 - 1400) = 63 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Таким образом, приведенные в статье сведения, дают представления о размерах частиц входящих в состав агрегата и характере агрегации. Определенные экспериментальным путем поверхностные натяжения и рассчитанные величины энергий дезагрегации для различных фракций материала, позволяют установить значения этих показателей в зависимости от дисперсности частиц. Эта информация также может представлять интерес при разработке дезагрегирующих устройств применяемых при сепарации порошкообразных материалов

Список литературы:

1. Трофимченко В.Н., Воронов В.П., Мордовская О.С., Ханин С.И. К вопросу определения скорости движения частицы по вращающейся поверхности конуса // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. №8. С.117-121.

2. Глухарев Н.Ф. Сухое измельчение в условиях нейтрализации. СПб.: Изд. Политехн. ун-та, 2014. 192 с.
3. Clark. M. Separation efficiency. // International cement review (ICR). 2004. September. P.38
4. Иванов О.С., Василишин М.С. Методика определения затрат энергии на дезагрегацию ультрадисперсных частиц. // Ползуновский вестник. 2011. №1-4. С.180-182.
5. Коузов П.А., Скрыбина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия, 1983. 143 с.
6. Григоров О.Н., Карпова И.Ф., Козьмина З.П., Тихомолова К.П., Фридрихсберг Г.А., Чернобережский Ю.М. Руководство по практическим работам по коллоидной химии. М.: Химия, 1964. 326 с.
7. Иванов О.С., Василишин М.С. К оценке энергозатрат при «мокром» измельчении дисперсного материала. // Журнал прикладной химии. 2011. Вып. 4. С 591-594.

ЛАБОРАТОРНАЯ ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ВИБРАЦИОННАЯ МЕЛЬНИЦА

**Фадин Ю.М., канд., техн., наук, проф.,
Герасименко В.Б., доцент,
Клёнова Н.А., магистрант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«р_офи_м» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г.Шухова*

В промышленности строительных материалов для получения тонкодисперсного материала уже давно применяются вибрационные мельницы. Измельчение в таком оборудовании происходит за счет истирания частиц материала о мелющие тела и при соударении частиц друг об друга. Измельчение происходит очень интенсивно, потому что вибрационное устройство производит большое количество вибраций (1500 мин^{-1}), приводящих мелющие тела и материал в вибрирующее состояние. Частички материала получают множество вибрационных импульсов, и постоянно находятся во взвешенном состоянии, что предотвращает повторное агрегирование мелких частиц [1].

Движение мелющих тел изменяется в зависимости от конструктивных параметров мельниц, которые в разной степени обеспечивают высокую удельную производительность при сравнительно низком энергопотреблении, а также регулируемую тонину продуктов измельчения [2,3].

Тонкое измельчение позволяет получить измельчаемый материал тонкостью 1 мкм, что положительно сказывается на готовом продукте, будь то тонкодисперсные порошки, пудра или песок, пигменты.

Несмотря на то, что вибромельницы являются преимущественным оборудованием для сверхтонкого измельчения, они обладают рядом недостатков. Так, например, с увеличением длины помольной камеры понижается КПД, а, следовательно, понижается и удельная поверхность материала. Измельчение в мельнице происходит настолько интенсивно, что корпус вибромельницы и рабочий вала сильно нагреваются, что приводит к применению дополнительного охлаждения. Высокая интенсивность помола ведет к возникновению множества шумов, поэтому встает вопрос об установке мельницы в отдельном помещении

с хорошей звукоизоляцией [4]. Большая энергоёмкость процесса помола, низкая удельная производительность, быстрый износ мелющих тел, засорение продукта материалами футеровок и измельчающих тел и т.д – всё это является недостатками виброизмельчения.

Совершенствование помольного оборудования, применение более эффективных и экономичных способов измельчения является актуальной проблемой для производства строительных материалов.

При сверхтонком помоле нарушается прямая зависимость между увеличением удельной поверхности размалываемого материала и удельной энергией, затрачиваемой на измельчение, которая вытекает из закона Риттингера. На определенной стадии помола увеличение удельной поверхности прекращается, а в некоторых случаях наблюдается даже ее уменьшение. Это явление объясняется возникновением агрегирования частиц [6,7].

В процессе тонкого измельчения значительная доля энергии затрачивается на пластическое деформирование разрушаемых частиц. С уменьшением размера зерен пластические свойства материала проявляются все сильнее и в ряде случаев начинают преобладать над хрупкими. Поэтому часто при измельчении не удается получить зерна размеров ниже определенной величины.

Колебательные импульсы и траектория движения шара в помольной камере имеют сложную форму, зависящую от положения шара по отношению к корпусу. Этим же обуславливается и усилия в активной зоне каждого шара, возникающие в процессе колебаний, определяются и массой всех мелющих тел и условиями взаимодействия шаров. В силу этого расчет измерения напряжений в активной зоне не представляются возможным, из-за сложности теории все основные параметры вибрационных мельниц необходимые для их конструирования получены экспериментально. Установлено, что эффективность измельчения пропорциональна частоте и квадрату или кубу амплитуды колебаний [5]. Она оптимальна когда помольная камера заполнена мелющими телами на $\frac{3}{4}$ объёма камеры. Скорость измельчения растёт с повышением плотности и твердости материала, из которого изготовлены шары. Наиболее выгодные размеры шаров выбирают исходя из дисперсности исходного материала [8].

Вибрационная мельница (рисунок 1), содержит горизонтально установленную на упругих опорах 6, помольную камеру 4, с центральной трубой и смонтированным в трубе вибровозбудителем 3, а также загрузочную 7 и разгрузочную часть. Вибрационная мельница

отличается от аналогов тем, что на выходе материала из помольной камеры установлено пружинное устройство 5, которое состоит из пружин, расположенных с зазором между наружной и внутренней трубами, верхний торец пружины соединен с помольной камерой, а нижний соединен с разгрузочным патрубком. Внешняя труба в верхней части закреплена подвижно к камере помола, а нижняя часть соединена жестко с патрубком разгрузки. Внутренняя труба в нижней части закреплена жестко на раме установки, а верхняя часть имеет вид конусообразного основания, ударяясь о который частички материала разбрасываются в сторону, и попадают на пружины домола. В нижней части пружинного устройства расположено регулирующее устройство, которое позволяет регулировать расстояние между витками пружины до начала работы мельницы.

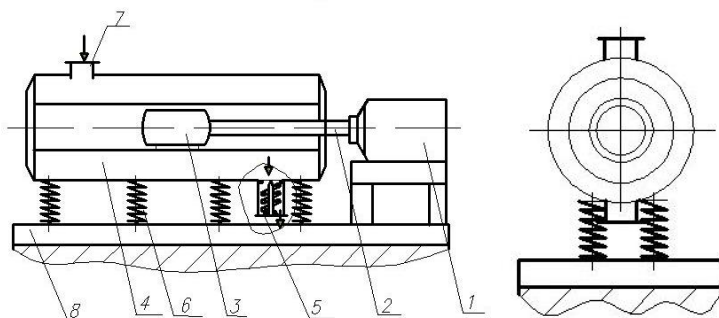


Рисунок 1 – Общий вид лабораторной горизонтальной вибродвижной мельницы

Рост применения порошкообразных материалов, предъявляет все более жесткие требования не только к гранулометрическим характеристикам порошков, но и к форме отдельных частиц, структуре пограничных слоев, реакционной способности новообразованной поверхности. Отсюда следует, что показатели эффективности измельчения приобретают совершенно новое значение как для готового продукта, так и для его себестоимости. И если при относительно грубом помоле расход энергии не превышает общепринятых норм, а ее доля в себестоимости конечного продукта незначительна, то производство

тонкодисперсных порошков, которое всегда связано с более высокими энергетическими затратами, невозможно без применения новейших высокоэффективных технологий и оборудования для тонкого измельчения. Тем самым, создание описанной лабораторной горизонтальной вибрационной мельницы с расположенным в центре камеры виброприводом, и с вибрационным устройством позволит проверить на практике, как изменится тонкость измельчения при применении данных устройств.

Список литературы:

1. Бауман А.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. М.: Высшая школа, 1977. 255 с.
2. Богданов В.С., А.Ю. Гаврунов. Кинетика движения загрузки в вибровращательной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 100–102.
3. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники. М.: Машиностроение, 1968. 362 с.
4. Кутель Р.В., Коновалов Д.О., Элькин А.Ю. Вибропомольные установки. Устройство, назначение, выбор. М.: Промстройиздат, 1956. 67 с.
5. Лесин А.Д., Белкин Л.И. Вибрационное измельчение материалов. Элементы теории и методика расчета основных параметров вибромельниц. М.: Промстройиздат, 1957. 113 с.
6. Обод А.П., Разработка, теоретическое и экспериментальное исследование вибрационных мельниц со сложно-пространственными колебаниями помольного барабана / Харьковский инженерно-строительный институт. 1978. 35 с.
7. Серго Е.Е. Дробление, измельчение, и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. – 285 с.
8. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Издательство литературы по строительству. 1972. – 240 с.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

**Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,
Герасименко В.Б., канд. техн. наук, доц.,
Романенко В.С., инженер,
Еремченко С.М., студент**

*Белгородский государственный технологический
Университет им. В.Г. Шухова*

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и
Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08042
«р_офи_м» с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г.Шухова*

Процесс измельчения является одним из основных в производстве большинства строительных материалов. В настоящее время перспективным методом помола является измельчение путем сжатия слоя материала, между измельчающими поверхностями, там образуется критическая зона, где развивается сжимающее усилие, превосходящее предел прочности материала [1-6].

Для выявления основных факторов, влияющих на процесс измельчения, а также для установления параметров оптимизации, были проведены эксперименты.

Важным характером работы горизонтальной валковой мельницы, является результат исследования кинетики процесса измельчения. В результате статистической обработки результатов экспериментов нами получено следующее уравнение регрессии в кодированном виде:

$$R = 77,839 - 0,091x_1 - 1,824x_2 + 1,121x_3 + 2,339x_4 + 0,151x_1^2 + \quad (1) \\ + 0,048x_2^2 - 0,729x_3^2 - 1,943x_4^2 + 0,250x_1x_2 - 0,563x_1x_3 - 0,594x_1x_4 + \\ + 0,250x_2x_3 + 0,001x_2x_4 + 0,003x_3x_4,$$

Анализ уравнения регрессии 1 показывает:

Наибольшее влияние на тонкость помола мрамора в ГВМ оказывает величина зазора между барабаном и вторым валком – фактор x_4 , коэффициент при котором имеет максимальное значение.

Положительный знак перед x_4 свидетельствует о том, что с увеличением зазора между барабаном и вторым валком, при постоянстве остальных факторов (x_1, x_2, x_3) = const остаток на сите 0071 увеличивается, то есть тонкость помола уменьшается.

Весовое значение фактора x_4 в формировании функции отклика составляет 3%.

При величине зазора между барабаном и вторым валком равным 2 мм, частоте вращения барабана мельницы 100 мин^{-1} , усилии прижатия валков к барабану равном 875 Н, а также при величине зазора между барабаном и первым валком равным 4 мм остаток на сите 0071 составляет 51,72%, а при зазоре равном 6мм остаток на сите 0071 составляет 83,60%, то есть тонкость помола если судить по величине R_{0071} уменьшилась в 1,62 раза.

На ряду с фактором x_4 на формирование функции отклика R_{0071} существенное влияние оказывает величина усилии прижатия валков к барабану – фактор x_2 .

Отрицательный знак перед x_2 свидетельствует о том, что с увеличением величины усилии прижатия валков к барабану, при постоянстве остальных факторов (x_1, x_3, x_4) = *const* остаток на сите 0071 уменьшается, то есть тонкость помола возрастает.

Весовое значение фактора x_2 в формировании функции отклика составляет 2,34%.

При величине усилии прижатия валков к барабану равного 700 Н, частоте вращения барабана мельницы 100 мин^{-1} , а также при величине зазоров между барабаном первым и вторым валками равным 4 мм остаток на сите 0071 составляет 83,58%, а при зазоре равном 6мм остаток на сите 0071 составляет 61,33%, то есть тонкость помола увеличилась в 1,36 раза.

Менее значимое, но сопоставимое влияние оказывает фактор x_3 на формирование функции отклика R_{0071} – величина зазора между барабаном и первым валком.

Положительный знак перед x_3 , как и перед x_4 , свидетельствует о том, что с увеличением зазора между барабаном и первым валком, при постоянстве остальных факторов (x_1, x_2, x_4) = *const* остаток на сите 0071 увеличивается, то есть тонкость помола уменьшается.

Весовое значение фактора x_3 в формировании функции отклика составляет 1,44%.

При величине зазора между барабаном и первым валком равным 2 мм, частоте вращения барабана мельницы 100 мин^{-1} , усилии прижатия валков к барабану равном 875 Н, а также при величине зазора между барабаном и вторым валком равным 4 мм остаток на сите 0071 составляет 60,47%, а при зазоре равном 6мм остаток на сите 0071 составляет 84,25%, то есть тонкость помола если судить по величине R_{0071} уменьшилась в 1,39 раза.

Наименьшее влияние, а именно, фактически его отсутствие, на формирование функции отклика R_{0071} оказывает изменение частоты вращения барабана – фактор x_1 . Весовое значение этого фактора в функции отклика составляет 0,12%.

Из выше сказанного можно сделать следующие выводы: на величину тонкости помола в ГВМ наибольшее влияние оказывают величины зазоров между барабаном и валками, а также величина усилия их прижатия, наименьшее влияние оказывает изменение частоты вращения барабана. Это подтверждает наши теоретические предположения о кинематике процесса измельчения в ГВМ.

На рисунках 1– 4 представлены наиболее характерные графические результаты экспериментальных исследований: $R_{0071}=f(x_1)$, $R_{0071}=f(x_2)$, $R_{0071}=f(x_3)$, $R_{0071}=f(x_4)$.

Из рисунка 1 следует, что зависимость $R_{0071}=f(x_1)$ имеет экстремальный характер. Экстремум функции $R_{0071}=f(x_1)$ находится в зоне факторного пространства ограниченного значением $x_1 = 0$. При этом изменение параметра x_1 в диапазоне от -1,414 до 0 приводит к уменьшению остатка на сите R_{0071} т.е. помол более тонкий. Изменение параметра x_1 в диапазоне от 0 до 1,414 приводит к увеличению остатка на сите R_{0071} т.е. помол становится более грубым.

В то же время можно заметить, что с увеличением усилия прижатия валков к барабану – параметра x_2 от -1,414 до 1,414, экстремум функции $R_{0071}=f(x_1)$ имеет более выраженный характер, это соответствует режиму работы ГВМ.

Например при $x_1 = -1,414$ и увеличении x_2 от -1,414 до 1,414, остаток на сите 0071 уменьшается с $R_{0071} = 95,5\%$ до $R_{0071} = 86,1\%$ (рис. 4.19).

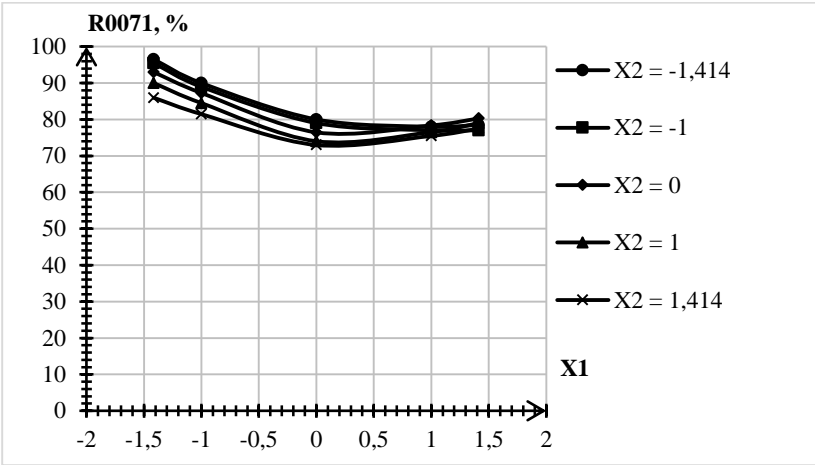


Рисунок 1 – Зависимость $R_{0073} = f(x_1)$ при $x_2 = var$; $x_3 = 0$; $x_4 = 0$

А при $x_1 = 1,414$ и увеличении x_2 от $-1,414$ до $1,414$, остаток на сите 0071 увеличивается с $R_{0071} = 78,5\%$ до $R_{0071} = 77,3\%$.

Характер зависимостей $R_{0071} = f(x_2)$ представленных на рисунке 2 дает основание сделать вывод: с увеличением усилия прижатия валков к барабану $F_{ПР}$ от 700 Н до 1050 Н остаток на сите 0071 снижается, тонкость помола возрастает. Все графические зависимости $R_{0071} = f(x_2)$ – убывающие. Например, при $x_2 = -1,414$ и $x_3 = -1,414$ $R_{0071} = 91,5\%$, а при увеличении усилия прижатия валков к барабану до $x_2 = 1,414$ – R_{0071} снижается до значения $65,2\%$.

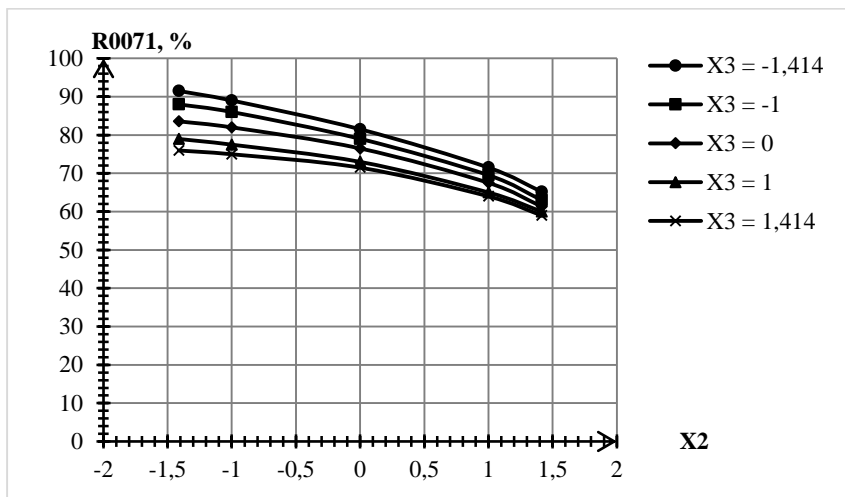


Рисунок 2 – Зависимость $R_{0073} = f(x_2)$ при $x_3 = var$; $x_1 = 0$; $x_4 = 0$

Увеличение зазора между барабаном и первым валком приводит к снижению характеристик $R_{0071} = f(x_2)$, они принимают более пологий вид, остаток на сите R_{0071} уменьшается.

Из рисунков 3, 4 следует, что все графические зависимости $R_{0071} = f(x_3)$ и $R_{0071} = f(x_4)$ – возрастающие, то есть с увеличением зазоров между валками и барабаном остаток на сите 0071 увеличивается, соответственно помол становится более грубым.

Сравнивая зависимости, представленные на рисунках 3 и 4, можно заметить, что изменение зазора на втором валке имеет большее влияние на тонину помола по сравнению с изменением зазора на первом валке.

Например, при равных значениях скорости вращения барабана $x_1 = -1,414$, на рисунке 3 при $x_3 = -1,414$ $R_{0071} = 48,47\%$, а на рисунке 4 при $x_4 = -1,414$ $R_{0071} = 39,72\%$.

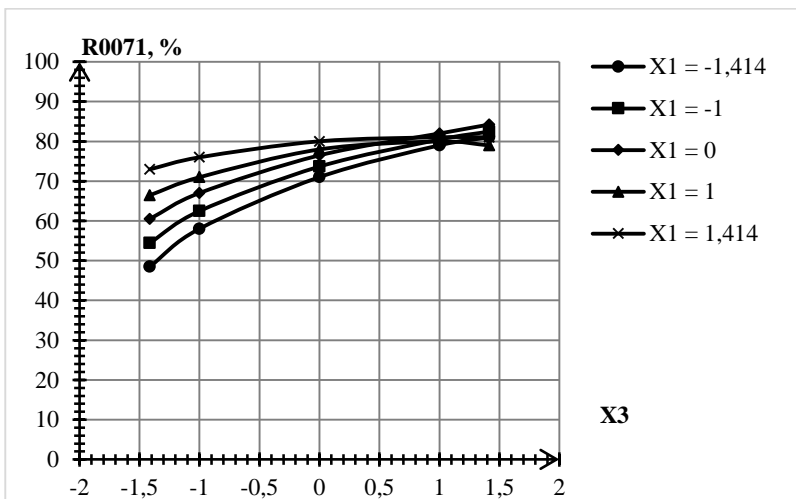


Рисунок 3 – Зависимость $R_{0071} = f(x_3)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_4 = 0$

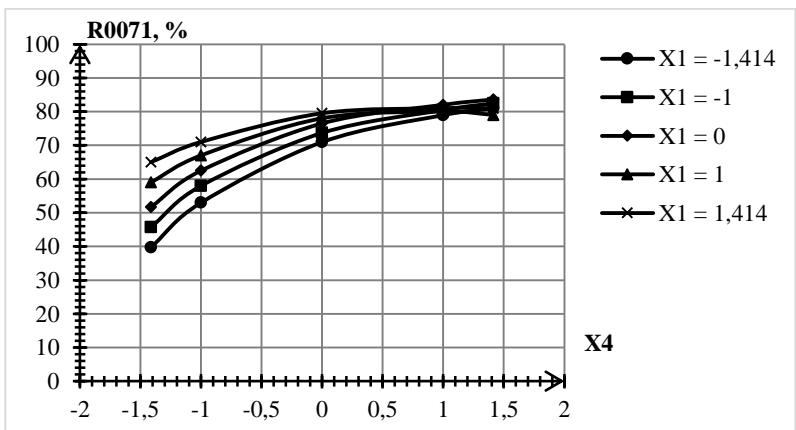


Рисунок 4 – Зависимость $R_{0071} = f(x_4)$ при $x_1 = var$; $x_2 = 0$; $x_3 = 0$

Увеличение частоты вращения барабана x_1 в обоих случаях приводит к подъему графических зависимостей $R_{0071} = f(x_3)$ и $R_{0071} = f(x_4)$, то есть с увеличением частоты вращения барабана остаток на сите 0071 увеличивается, соответственно помол становится более грубым.

Это также подтверждает ранее сделанные нами выводы в отношении влияния зазоров между валками и барабаном при анализе уравнения регрессии 1.

Таким образом, полученные здесь результаты при исследовании зависимостей $R_{0071}=f(x_1)$, $R_{0071}=f(x_2)$, $R_{0071}=f(x_3)$, $R_{0071}=f(x_4)$ позволяют установить рациональный режим процесса измельчения в ГВМ.

Список литературы:

1. Bogdanov V.S. The Power Consumption Calculation of a Ball Drum Mill / S.I. Antsiferov, N.E. Bogdanov // Middle-East Journal of Scientific Research 2013. Т.18. №10 С. 1448-1454.
2. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Латышев С.С., Определение производительности трубной мельницы, оснащенной классифицирующим устройством // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. С. 98-101.
3. Богданов В.С. Гаврунов А.Ю., Кинетика движения загрузки в вибровращательной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 100-102.
4. Богданов В.С., Фадин Ю.М., Воронов В.П., Велентеенко П.Н., Математическое описание движения загрузки в ТШМ при сверхкритических скоростях вращения барабана // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2008. №3. С. 41-43.
5. Богданов, В.С., Романенко В.С., Уравнение кинетики процесса измельчения в горизонтальной валковой мельнице // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. №1. 2013. С. 53-57.
6. Богданов, В.С., Романенко В.С., Определение усилия измельчения в горизонтальной валковой мельнице с учетом прочности материала // Вестник БГТУ им В Г. Шухова. №4. 2012. С. 84-87.

ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**Хамидов М.А., инженер,
Нахаев М.Р., канд. техн. наук, доц.,
Хасиев Р.М., инженер**

*Грозненской государственной нефтяной технической
университет имени акад. М.Д. Миллионщикова*

Как известно, строительство в цивилизационные периоды исторического развития является наиболее динамично развивающейся отраслью народного хозяйства, ориентированное на удовлетворение потребностей в зданиях и сооружениях, и способствующее развитию производственных сил и улучшению социальных условий общества.

До середины 80-х годов прошлого века в нашей стране предпочтение отдавалось сборному строительству, где активно пропагандировалось панельное и блочное домостроение.

При всей своей экономической рациональности технологии сборного строительства существенно ограничивают творческие возможности архитекторов и проектировщиков по внешнему виду и планировке зданий. Также по ряду причин в панельных и блочных зданиях нельзя повторить микроклимат и архитектурные качества, присущие кирпичным и монолитным зданиям.

В связи с этим в 1987 году в России началось внедрение программы «Монолит-2000», разработанной для продвижения монолитного домостроения. Вначале программа осуществлялась медленно и не выполняла поставленные задачи. Но являясь одним из наиболее эффективных методов, роль монолитного строительства в нашей стране возросла при переходе к рыночной экономике, когда появилась необходимость обновления на современной технической основе производственных фондов, расширения и совершенствования социальной сферы общества. Сейчас можно смело утверждать, что потребности рынка, влияющие на строительное производство в России, обеспечивают стремительное развитие этого направления в строительстве [1].

На сегодняшний день монолитное и сборно-монолитное строительство являются одним из самых прогрессивных направлений строительства зданий и сооружений. Это — возведение конструктивных элементов из бетонной смеси с использованием специальных форм (опалубки) непосредственно на строительной площадке. В первом

случае здание полностью возводится из сплошного бетона, во втором случае создается жесткий монолитный каркас с различными видами ограждающих конструкций и элементов перекрытия (рис. 1).



Рисунок 1 – Возведение здания из монолитного железобетона

Монолитное строительство имеет ряд преимуществ перед другими технологиями.

Шаг конструкций при монолитном строительстве не имеет значения. А в сборном – все конструкции имеют размеры, кратные определенному модулю; технология конструкций, выполняемых на заводе, не позволяет быстро изменить форму оснастки и т.д. Поэтому архитекторы и проектировщики были привязаны к определенным типоразмерам и, как следствие – ограничены в принятии проектных решений.

Монолитные здания легче кирпичных на 15-20 %. Существенно уменьшается толщина стен и перекрытий. За счет облегчения веса конструкций уменьшается материалоемкость фундаментов, соответственно удешевляется устройство фундаментов.

Производственный цикл переносится на строительную площадку. При сборном домостроении изделия изготавливаются на заводе, привозятся на площадку, монтируются. При изготовлении сборных конструкций закладываются допуски на всех технологических этапах, которые приводят к дополнительным трудозатратам при отделке стыков. Если монолитное строительство ведется по четко отработанной схеме, то возведение зданий осуществляется в более короткие сроки. Кроме этого, качественно выполненная работа исключает необходимость мокрых процессов. Стены и потолки практически готовы к отделке.

Монолитное строительство обеспечивает практически "бесшовную" конструкцию. Благодаря этому повышаются показатели тепло- и звукопроницаемости. В то же время, конструкции более долговечны.

Процесс монолитного строительства состоит из нескольких этапов: приготовления и доставки бетона, подготовки опалубки и собственно укладки бетона. Процесс этот особенно упрощается, если есть возможность создания своего бетонного узла непосредственно на стройплощадке.

Применение современных опалубочных систем при монолитном строительстве значительно повышает его технологичность. Сроки и качество возведения конструкций во многом определяются применяемой опалубкой. Современные опалубочные системы можно классифицировать по различным критериям [3]:

- по функциональному назначению: для получения вертикальных поверхностей (опалубка стен, опалубка колонн); для горизонтальных и наклонных поверхностей; для образования криволинейных поверхностей (например, пневматическая); для одновременного бетонирования стен и перекрытий, комнат и целых квартир;

- по конструктивным признакам: разборно-переставная мелкощитовая опалубка; разборно-переставная крупнощитовая опалубка; подъемно-переставная опалубка; блочная опалубка; объемно-переставная опалубка; скользящая опалубка; горизонтально-перемещающаяся (катучая, тоннельная) опалубка; пневматическая опалубка; несъемная опалубка;

- по материалам формирующих элементов: металлическая; деревянная; фанерная; пластмассовая; несъемная (пенополистирол, фибролит и т.п.);

- по поддерживаемому температурному режиму выдерживания бетона: не утепленная; утепленная; греющая (термоактивная).

За российский строительный рынок борются, в основном, зарубежные производители опалубки. Широко предлагаются разборно-переставная, мелко- и крупнощитовая опалубка, т. е. опалубка, состоящая из модульных щитов-балок с системой доборных элементов. В основном по принципу модульных щитов созданы опалубочные системы "НОЕ", "ПЕРИ", "МЕВА" (Германия), "ДОКА" (Австрия), "ПАШАЛЬ" (Германия), "УТИНОРД" (Франция). В начале этого года концерном "МЕВА" разработаны наиболее современные опалубочные

системы, где вместо повсеместно используемой многослойной фанеры применяются совершенно новые долговечные пластмассовые полипропиленовые плиты "Алкус".

Австрийско-немецкая фирма "Дока" является одним из самых крупных мировых производителей опалубки. В ассортименте выпускаемой компанией продукции - самые различные виды опалубки: стеновая, для перекрытий, подъемно-переставная и многие другие (рис. 2).





Рисунок 2 – Опалубочные системы от Австрийско-немецкой фирмы «DOKA»

Разработка и изготовление всех деталей опалубки одной компанией подтверждены международным сертификатом качества ISO 9002. Совсем недавно производство опалубки начал осуществлять петербургский "Маркетинг-центр "Арсенал", предлагающий комплект тоннельной опалубки для монолитного домостроения. Универсальность новой модели позволяет осуществить одновременно заливку стен и перекрытий строящегося здания, в результате чего ступенчато изменяется высота стен от 2,8 до 3,0 м, толщиной от 130 до 160 мм. Конструировать помещение можно шириной до 5,5 м, а также строить арочные своды и проемы.

Предлагается также опалубка "ТРАПЕЦ", предназначенная для резервуаров круглой формы, очистных сооружений, бассейнов или опалубка фирмы "ГЛЯЙТБАУ" - для строительства объектов особой сложности. Совершенно другой подход использован при разработке и проектировании опалубочной системы "Алума Системс" (Канада). Система включает набор унифицированных несущих элементов из алюминиевого сплава, из которых собирают формы различных размеров и несущей способности в зависимости от технологии возведения, скорости бетонирования, нагрузок и других характеристик монолитных конструкций. После сборки каркаса на него по размерам панели крепят

фанерную палубу. Таким образом, опалубку можно применять для более широкого спектра зданий и сооружений, в том числе и для резервуаров, бассейнов круглой формы, с перекрытиями любой формы, в том числе и сводчатыми, а применение унифицированных несущих элементов под конкретные нагрузки позволяет использовать ее более экономично.

Фирма "Канстрой групп" представляет в России оригинальную технологию возведения зданий и сооружений с помощью пенополистирольных блоков несъемной опалубки (так называемая строительная система ААБ). Данная система, изобретенная в 80-х годах в Канаде, представляет собой несъемную опалубку в виде блоков из пенополистирола с впрессованными в процессе изготовления перемычками. Простым укладыванием друг на друга восемь рядов блоков образуют один этаж будущего здания, в пазы перемычек закладывается арматура - этаж готов для заливки бетоном.

Метод монолитного возведения зданий, несмотря на явные преимущества, имеет и ряд недостатков, к которым могут быть отнесены:

- опасность образования технологических трещин в монолитных конструкциях от температурно-усадочных деформаций бетона в процессе его твердения, зависящих от состава бетона, условий твердения и размеров участков бетонирования конструкций;

- надежная оценка прочности твердеющего бетона в момент распалубки и передачи нагрузки от вышележащих элементов на конструкции, в которых бетон не достиг проектной прочности;

- необходимость разработки расчетных правил по установлению допустимой промежуточной прочности бетона при снятии и перестановке опалубки по этажам для различных видов монолитных конструкций (перекрытий, стен, колонн) с точки зрения обеспечения трещиностойкости и прочности конструкций во время возведения монолитного здания, а также включение в план производства работ мероприятий по ускорению набора прочности бетоном;

- эффективный контроль качества монолитных конструкций.

Во многих случаях при скорости испарения, превышающей $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ образование трещин от пластической усадки является неизбежным. Поэтому конструкции с большими открытыми поверхностями (например, перекрытия) с целью сохранения в них влаги, препятствующей появлению трещин, покрывают пленкообразующими составом ВПС-Д [2]. Сооружения большой протяженности разрезают усадочными швами.

В массивных бетонных конструкциях снижение усадок и трещинообразования можно достигнуть: 1) за счет снижения температуры гидратации путем введения специальных добавок; 2) снижения расхода цемента, что помимо экономического эффекта дает возможность снизить термальные нагрузки бетонной конструкции, приводящие в противном случае к образованию трещин и усадок.

Испытания монолитных конструкций пробным нагружением довольно сложны, а контроль прочности бетона по образцам недостаточен, особенно при бетонировании в зимнее время, и центр тяжести контроля прочности бетона должен быть перенесен на неразрушающие методы. Т.е. возведение здания должно сопровождаться серьезным мониторингом для обеспечения его надежности и последующей безопасной эксплуатации.

В отечественных условиях монолитное строительство испытывает еще и дополнительные трудности, в частности, связанные с организационными проблемами. Например, необходимость закупки дорогостоящих опалубочных, бетонотранспортирующих и других технических средств, так как в России предприятий, предоставляющих опалубочные системы в аренду с проектированием опалубки под конкретный объект, комплектацией и техническим сопровождением очень мало.

Но при больших объемах работ обеспечивается максимальная экономичность за счет многократной оборачиваемости опалубки и высокого качества импортной техники, требующего ремонта в течении длительного времени. В этом случае оправдано и устройство растворобетонного узла непосредственно на стройплощадке, когда доставка бетона производится небольшим количеством автомашин, перевозящих бетонную смесь с минимальным плечом. При малой продолжительности транспортировки повышается оперативность доставки смеси и отпадает необходимость в применении пластифицирующих добавок, что соответственно снижает стоимость бетона.

В условиях малоэтажного строительства возникают проблемы, связанные с рассредоточенностью строительных площадок, в основном с небольшим объемом работ и неудовлетворительными транспортными связями. Оставются актуальными вопросы, связанные со снижением затрат тяжелого ручного труда, а также снижением расхода дефицитных материалов при производстве опалубочных работ.

Одним из эффективных решений этих проблем в малоэтажном домостроении является применение легкой опалубки, позволяющей выполнять опалубочные работы по бескрановой технологии.

Для этой цели может служить опалубка «Hennebeck-Thyssen Krupp» под маркой «RASTO» которая сегодня считается одной из самых легких и доступных опалубок. Это система легких щитов, изготовленных из горячеоцинкованной, стойкой к коррозии стали. Для щитов применяется фанера толщиной 14 мм.



Рисунок 3 – Опалубка «RASTO»

Использование несъемной опалубки монолитных зданий – одно из современных и перспективных направлений строительства.

Несъемная опалубка состоит из формообразующих (опалубочных) элементов (плит, блоков и т.п.), креплений и поддерживающих устройств (тяжей, прогонов, распорок, стоек, подкосов и т.п.). Опалубочные элементы являются несъемными, т.е. остаются в монолитной конструкции и работают как одно целое. Детали крепления могут быть съемными и несъемными в зависимости от конструктивных решений.

В настоящее время на рынок новых экологически чистых технологий и материалов для строительства энергоэффективных зданий и сооружений продвигается технология монолитного строительства на основе блочной несъемной опалубки компании «DURISOL».



Рисунок 4 – Опалубка (несъемная) «DURISOL»

Вдобавок ко всем прочим достоинствам монолитное строительство позволяет решать и экологические задачи, связанные с утилизацией отходов производства. Известно, что природные ресурсы истощаются, а отходы производства, как в мире, так и особенно в России, нарастают. Больше всего отходов образуют предприятия горнодобывающих, металлургических и теплоэнергетических отраслей. Огромные скопления этих отходов нарушают экологическое равновесие, являясь источником загрязнения окружающей среды. Зачастую под отвалы отчуждаются необходимые для народного хозяйства земли. Нагрузка на окружающую среду достигла такого уровня, при котором сама природа уже не в состоянии восстановить нарушенное экологическое равновесие.

Имеются данные, из которых следует, что большинство стран мира используют 55...90% зольного выхода, в том числе в строительстве от 35 до 70%. Страны СНГ занимают в этом, по существу, одно из последних мест (7% в целом и 4,4% в строительстве). В России использование золошлаковых отходов за период с 1995 года по настоящее время снизилось на 30% и более. В связи с этим, несмотря на наличие многочисленных работ отечественных и зарубежных исследователей и ученых-производственников, разработавших

рекомендации, ГОСТы и технологии применения золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭЦ в бетонах, требуется комплексный подход к решению этой проблемы.

Частичное решение данной проблемы предложено авторами [4-6], которым были проведены исследования мелкозернистого шлакозобетона в ремонтно-восстановительных работах несущих конструкций зданий. Для оптимального состава мелкозернистого высокоподвижного бетона классов В12,5-В22,5 была проведена серия опытов, в которых изменялось содержание шлакового песка от 70 до 100 % и золы от 0 до 30 % (с отвалов ТЭЦ г. Грозного) при постоянном расходе цемента. Для регулирования свойств бетонных смесей применили следующие добавки: ЛСТ и ЛСТ + ЩСПК. Введение этих добавок с водой затворения позволило оптимизировать составы бетонов классов В12,5-В22,5, характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства МЗБ [4-6]

Класс бетона	Ср. плотность, кг/м ³	R _p , МПа	R _{изг} МПа	R _{сж} , МПа	R _{сц} , МПа	E, МПа	Усадка, мм/м	Мера полз. мм/м	Растяжим. мм/м
В12,5	1870	2,5	3,0	12,2	5,0	20,5	21,0	0,21	0,05
В15	1890	3,5	4,0	15,5	8,2	23,5	24,0	0,25	0,10
В22,5	2080	4,5	5,5	22,7	10,5	26,0	25,5	0,27	0,17

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование техногенных отходов в совокупности с химическими добавками по традиционной технологии способствует повышению эффективности мелкозернистых бетонов, что в свою очередь позволяет расширить их использование в монолитном строительстве. В связи с этим, необходимо разработать теоретические и практические предложения, которые позволят использовать твердые отходы каждого предприятия, золы и шлаки каждой электростанции и каждой котельной на 100%, сокращая применение в бетонах природных и искусственно созданных заполнителей, а также цемента, ликвидируя золошлакоотвалы как таковые, что позволит решить триединую задачу: экологическую (ликвидацию отходов), экономическую (стоимость

бетонов из вторичных ресурсов значительно дешевле) и социальную (увеличение строительства жилья и других объектов за счет утилизации отходов).

Рассматривая перспективы монолитного строительства, можно обозначить два ключевых направления развития: одно из них нацелено на массовое возведение типовых зданий (преимущественно жилых), а другое — на возведение уникальных сооружений. Первое направление охватывает огромный рынок жилья всех категорий. Спрос на качественное жилье растет, одновременно с этим растет потребность в разнообразных архитектурных решениях, создающих современный облик жилых районов. Второе направление – это строительство по индивидуальным проектам отдельных сооружений или целых комплексов, выполняющих роль градостроительных акцентов.

Для решения таких задач необходимо, во-первых, дальнейшее развитие технологий монолитного строительства путем усовершенствования технической базы, основу которой составляют опалубочные системы и оборудование для бетонных работ; во вторых, необходимо решить проблемы, лежащие в плоскости поведения самого бетона (опасность образования технологических трещин в монолитных конструкциях от температурно-усадочных деформаций в процессе его твердения), а также связанные с ограниченными возможностями эффективного контроля качества монолитных конструкций.

Список литературы:

1. Звездов, А.И. Железобетон в современном строительстве. (Электронный ресурс). URL: <http://www.niizhb.ru/statzvezdov2.htm>
2. Гаврикова, Т.А. Об эффективности технологии малоэтажного домостроения с использованием несъемных опалубочных блоков [Текст] / Т.А. Гаврикова, А.А. Яворский, А.Н. Смирнов // Строительство и архитектура: сб. материалов квалификационных и науч. работ студентов и магистрантов / ННГАСУ. Н. Новгород, 2003. Вып. 5. С.88-91.
3. Опалубка для монолитного строительства: состояние, перспективы развития и проблемы [Текст] / Н.И. Евдокимов, А.П. Степанов, О.Г. Пятакова, Е.А. Евдокимова, А.В. Круглова // Строительные материалы. -2005.-№6.-С.50-52.
4. Муртазаев, С-А.Ю. Эффективные мелкозернистые бетоны с использованием отвалных золошлаковых смесей / С-А.Ю. Муртазаев, З.Х. Исмаилова //Бетон и железобетон. 2008. №3. С.27-28.

5. Муртазаев, С-А.Ю. Эффективные бетоны и растворы на основе техногенного сырья для ремонтно-строительных работ: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05 /С-А.Ю. Муртазаев. Грозный: 2009. 43 с.
6. Исмаилова, З.Х. Эффективные мелкозернистые бетоны с органоминеральной добавкой на основе золошлаковых смесей: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / З.Х. Исмаилова. Белгород: 2008. 23 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОМОЛА КЛИНКЕРА В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Ханин С.И., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

На предприятиях промышленности строительных материалов преимущественное распространение получили шаровые мельницы (ШМ), успешно применяемые на протяжении более ста лет для помола различных материалов. Их широкому распространению способствовали универсальность применения; относительная простота конструкции и эксплуатации; достаточно высокая производительность; возможность измельчения материалов с относительно большой исходной крупностью кусков, различной гаммой свойств, в том числе и с пониженной размалываемостью как в условиях сухого, так и мокрого помолов. К основному недостатку, способствующему вытеснению ШМ другими типами помольных агрегатов, следует отнести повышенные удельные энергозатраты, к которым приводит несовершенство процесса выделения из шароматериальной среды кондиционных частиц материала. Материал, находящийся в выделенной в продольном направлении камеры мельницы зоне, имеет значительно отличающиеся размеры частиц, а в случае его многокомпонентности - и размалываемость. Имеющиеся несоответствия размеров частиц измельчаемого материала и мелющих тел значительно способствуют снижению эффективности процесса его измельчения.

Применение прессвалковых измельчителей на стадии грубого помола позволяет повысить производительность шаровой мельницы на 35...45 % и снизить удельный расход электроэнергии на 30...45 %. В качестве недостатков прессвалковых измельчителей указываются не равномерное изнашивание валков по их длине, приводящее к неоднородности измельчённого материала, зависимость эффективности работы и гранулометрической характеристики измельчённого материала от степени износа рабочих органов. При реконструкции действующих технологических помольных комплексов с установкой прессвалковых измельчителей требуются значительные материальные и временные затраты (приобретение основного и вспомогательного оборудования, проектирование и строительство фундаментов, а возможно и дополнительного здания).

При производстве огнеупорных изделий нашли широкое применение шаровые мельницы различных типоразмеров с внутримельничными классифицирующими устройствами и разгрузкой материала через сито [1]. Эти мельницы используются как в открытом, так и в замкнутом циклах (рис.1). Конструкция ШМ позволяет удалять из шароматериальной среды частицы определённой крупности по мере их образования, исключить переизмельчение, повысить эффективность процесса помола. В работе [1] приведены эксплуатационные характеристики промышленных шаровых мельниц с разгрузкой материала через сито.

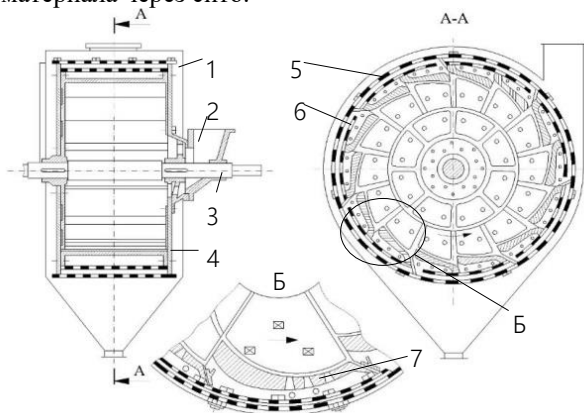


Рисунок 1 – Шаровая мельница с периферийной разгрузкой: 1 – кожух, 2 – загрузочная часть, 3 – вал, 4 – днище, 5 – наружное сито, 6 – промежуточное сито, 7 – перфорированная бронеплита

Так, при измельчении шамота с максимальной крупностью кусков $d = 5 \cdot 10^{-2}$ м мельницы обеспечивают его грубый помол с максимальной крупностью частиц $d < 4 \cdot 10^{-2}$. При этом дельный расход электроэнергии составляет $q = 3,5 \dots 4,6$ кВт·ч/т. Согласно приведенным данным, цементный клинкер обладает более высокой размалываемостью. Пересчет табличных данных показывает, что удельная производительность мельницы при измельчении клинкера ($Q_{уд.к} = 0,04$ т/кВт·ч) характеризуется величиной удельного расхода электроэнергии $q_k = 25$ кВт·ч/т, что характеризует его как обладающий низкой размалываемостью. При измельчении шамота ($Q_{уд.ш} = 0,016 \dots 0,035$ т/кВт·ч) удельный расход электроэнергии составляет $q_{ш} = 62 \dots 28$ кВт·ч/т, что характеризует его как обладающий более низкой размалываемостью, чем клинкер. Приведенные данные

свидетельствуют о возможности предварительного измельчения клинкера в мельницах с классифицирующими устройствами. К их недостаткам следует отнести невысокую производительность, низкую эксплуатационную надёжность и повышенную ремонтосложность, обусловленные составной конструкцией корпуса и необходимостью осуществления его сборки-разборки при замене перфорированных бронеплит. Составная конструкция корпуса ограничивает загрузку камер мельницы мелющими телами до коэффициента $\varphi \leq 0,12$, что обуславливает её невысокую производительность. Имеющиеся конструктивные недостатки не позволили использовать этот тип шаровых мельниц в цементной и других отраслях промышленности.

Проходящий через корпус вал не позволяет эксплуатировать мельницу в условиях, обеспечивающих смешанный и водопадный режимы движения МТ, что снижает эффективность процесса грубого помола. Мельница может применяться только на стадии грубого помола материала, так как содержание частиц размером менее 0,08 мм составляет около 3 %.

Для повышения эксплуатационной надёжности шаровой мельницы, эффективности процесса помола материала; увеличения ее производительности разработана конструкция мельницы с внутримельничным классифицирующим устройством [2, 3]. На рис. 2 приведена схема корпуса ШМ с цилиндрическим классифицирующим устройством (ЦКУ). При поступлении исходного материала в загрузочную часть 1 корпуса мельницы он направляется во внутреннюю часть цилиндрической перфорированной обечайки, где подвергается интенсивному измельчению находящейся там крупношаровой мелюшей загрузкой. Частицы материала, измельчённые до размеров, меньших ширины или диаметра классифицирующих отверстий бронефутеровки цилиндрической перфорированной обечайки 5, перемещаются через них в кольцевую полость 7. Из нее материал направляются винтовым транспортирующим устройством 6 во внутреннюю часть классифицирующей перегородки через сообщающие отверстия 8 в её решётке 9. На просеивающих поверхностях классифицирующей перегородки грубомолотый материал разделяется на крупную и мелкую фракции, из которых крупная возвращается в цилиндрическое классифицирующее устройство, а мелкая – направляется в разгрузочную часть мельницы. Диаметр или ширина классифицирующих отверстий просеивающих поверхностей в зависимости от требований технологического регламента, свойств измельчаемых материалов, могут назначаться равными или меньшими

ширины или диаметра классифицирующих отверстий бронефутеровки цилиндрической перфорированной обечайки 5. В ряде случаев вместо классифицирующей перегородки могут использоваться выходная решётка и разгрузочное устройство. Поступившая из ШМ мелкая фракция материала в зависимости от требований технологического регламента может использоваться по назначению или подвергаться дальнейшему тонкому или сверхтонкому помолу. В случае необходимости ее последующего доизмельчения в мельнице тонкого помола, первая камера мельницы будет загружаться ассортиментом МТ с уменьшенным средневзвешенным диаметром шара, что также позволит снизить удельные энергозатраты.

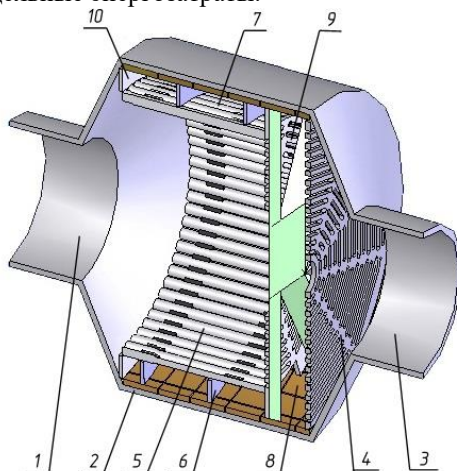


Рисунок 4.1. Схема корпуса ШМ грубого помола с ЦКУ: 1, 2 и 3 – бронефутерованные загрузочная, цилиндрическая и разгрузочная части корпуса, соответственно; 4 – классифицирующая перегородка, 5 – цилиндрическая перфорированная обечайка, 6 – винтовое транспортирующее устройство, 7 – кольцевая полость, 8 – сообщающие отверстия, 9 – решётка, 10 – кольцевой диск

При необходимости получения в мельнице тонкомолотого материала за классифицирующей перегородкой должны располагаться камеры домола. Применение ЦКУ обеспечивает совмещение процессов измельчения и выделения из мелющей среды достигших определённой крупности частиц материала. Это позволяет создать в ЦКУ рациональное соотношение крупности МТ и измельчаемого материала,

значительно уменьшить количество и обеспечить своевременное удаление мелкой фракции, снижающей эффективность разрушения крупных частиц. Мельница может загружаться мелющими телами до коэффициента $\varphi = 0,3$ и более.

Применение шаровой мельницы грубого помола с ЦКУ в помольном комплексе открытого двухстадийного цикла измельчения клинкера обеспечивает увеличение его производительности на 20...30 %, снижение удельного расхода электроэнергии на 15...25 %.

Список литературы:

1. Карклит А.К., Ларин А.П., Лосев С.А., Верниковский В.Е. Производство огнеупоров полусухим способом. / М.: Metallurgia, 1961. 320 с.
2. Пат. 2236298 РФ. МПК ВО2С 17/06. Трубная мельница / Ханин С. И., Кайдаш В.В., Чалов А.В., Солодовников Д. Н., Ханина О.С.; заявитель и патентообладатель Белгородская государственная технологическая академия строительных материалов; №2003113249/22, заявлено 05.05.2003; опубл. 20.09.2004. Бюл. №26. 4с.
3. Солодовников Д.Н., Ханин С.И., Воронов В.П. Возможности повышения эффективности процесса измельчения цементного клинкера в трубной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №1. С. 76-79.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Хворостенко С.В., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Железобетонные изделия (ЖБИ) на современных заводах должны соответствовать определенным прочностным характеристикам, которые достигаются за счет строго выполнения технологического процесса при конвейерном способе производства продукции с использованием современного комплекта оборудования. В процессе производства ЖБИ применяются регулируемые электропривода выполненные на базе полупроводникового преобразователя частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В результате работы такие электроприемники потребляют из сети ток, кривая которого оказывается несинусоидальной, в результате возникают нелинейные искажения кривой напряжения сети [1]. Поэтому экспериментальная оценка высших гармоник тока генерируемых различными потребителями с нелинейной вольтамперной характеристикой (ВАХ), и прогнозирование значений высших гармоник тока и напряжения в электрических сетях представляет особый интерес.

В качестве примера рассмотрим вибрационную площадку, как одного из потребителей промышленного предприятия при производстве железобетонных изделий, главной распределительной цеховой трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ мощность 630 кВА, где трансформатор используется как понижающий и согласующий (рис.1). Технические параметры электроприемников с нелинейной ВАХ подключенные с одной секции шин главной распределительной трансформаторной подстанции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Тип потребителя	Количество электродвигателей	Паспортные данные одного двигателя				
		P, кВт	I _н , А	U _л , В	cos φ	КПД, %
Вибрационная площадка	4	30	57,3	380	0,92	97
Электропилы	2	30	57,3		0,71	76,5
Компрессорная установка	2	110	191		0,87	91,5
Конвейер протаскивания	1	18,5	38		0,81	89

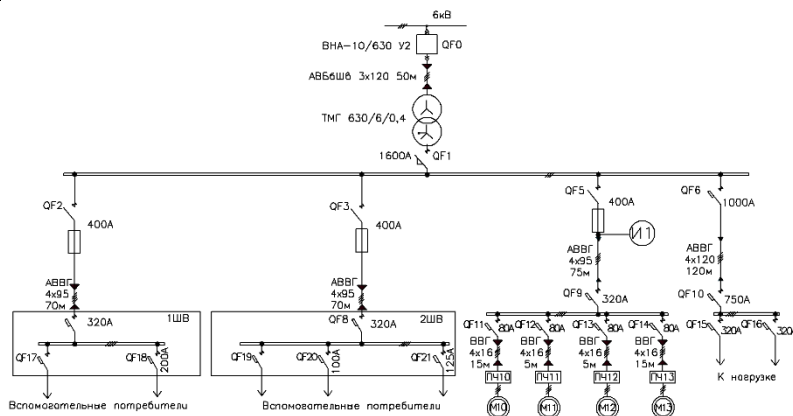
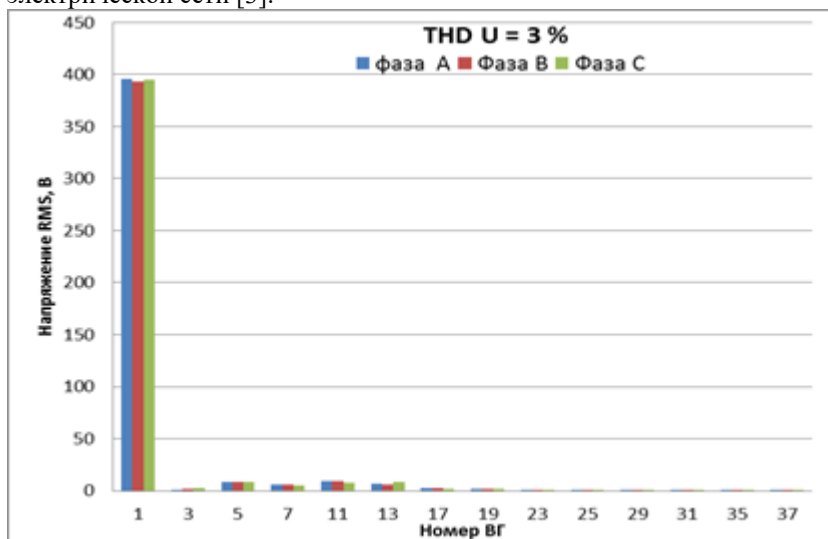


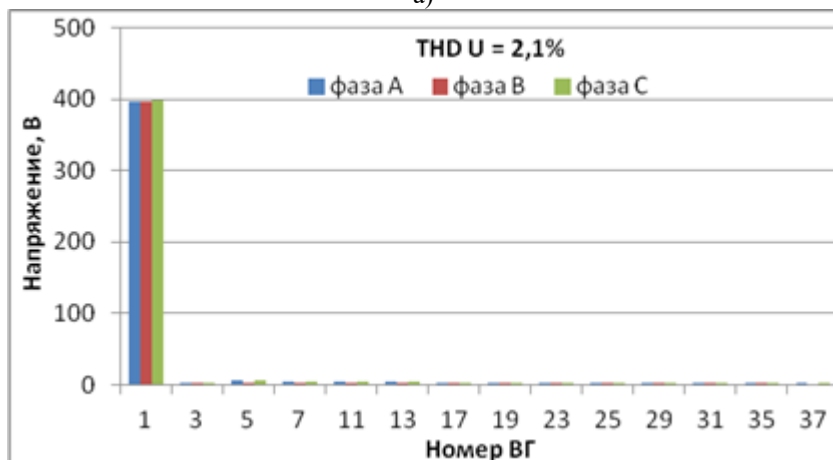
Рисунок 1 – Фрагмент схемы электроснабжения

Для измерения высших гармоник в системе электроснабжения промышленного предприятия применены анализаторы качества электрической энергии позволяющие проводить регистрацию комплексных значений токов и напряжений высших гармоник в течении нескольких суток [2]. На рисунке 1 точкой II обозначено место проведения исследования с помощью сертифицированных приборов: Chauvin Arnoux 8335 производство Франция и Энергомонитор-3.3Т1 производство Россия. Измерения проводились непрерывно в течении трёх суток, с регистрацией данных в одну минуту. По результатам измерений были получены гистограммы основных показателей

электромагнитной совместимости: суммарные коэффициенты гармонических искажений кривой тока и напряжения в исследуемой электрической сети [3].

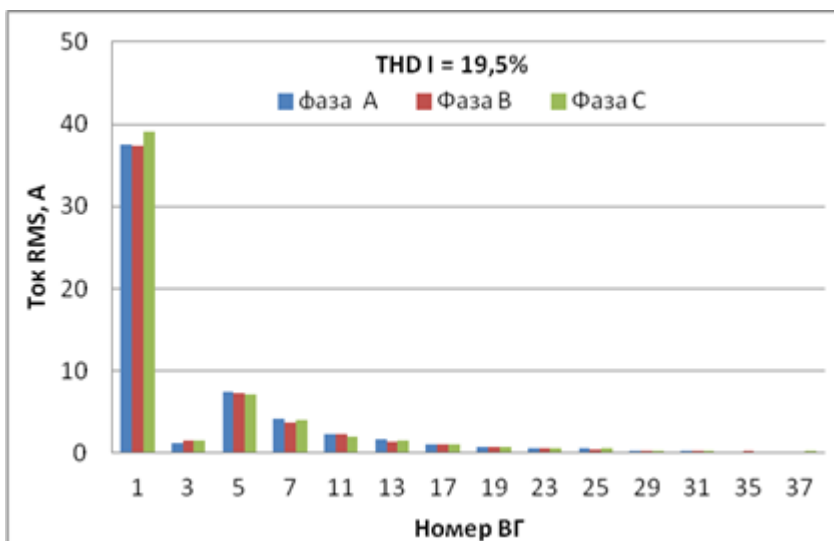


а)

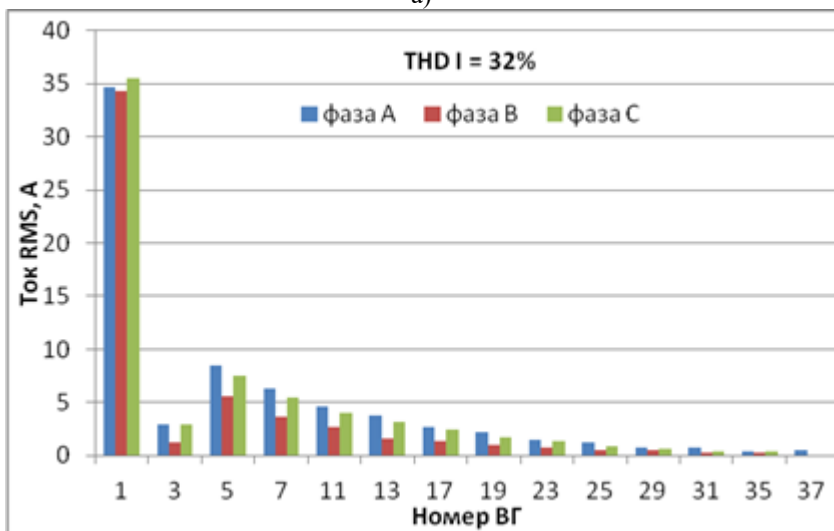


б)

Рисунок 2. Гистограмма высших гармоник кривой напряжения: а) измерения прибора СА 8335; б) измерения прибора Э-3.3Т1



а)



б)

Рисунок 3 – Гистограмма высших гармоник кривой тока:
 а) измерения прибора СА 8335; б) измерения прибора Э-3.3Т1

Результаты эксперимента представлены в таблице 2, показывают что значение суммарных коэффициентов гармонических искажений может достигать по току до 32%, а по напряжению до 3%. Данные получены от одной группы потребителей, где не учтена работы других электроприемников генерирующих в сеть высшие гармонические искажения. Поэтому значение суммарных коэффициентов гармонических искажений по току и напряжению в общем узле подключения электроприемников может достигать 40% и 10% соответственно.

Таблица 2

Коэффициент нелинейных искажений	Прибор СА 8335	Прибор Э-3.3Т1	Разность полученных измерений
THD_u	3%	2.1%	1%
THD_i	19.5%	32%	12.5%
Max THD_u	6.6%	5.8%	1%
Max THD_i	39.6%	86%	46%

Таким образом, проведенные измерения показывают, что необходимы технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС), электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой с системой электроснабжения промышленного предприятия. Для обеспечения необходимой степени уплотнения бетона с применяемыми виброчастотами, в соответствии технологического регламента, которые достигаются за счет использования регулируемого электропривода вибрационной площадки. Отклонение от технологического регламента влечет за собой увеличение процента брака продукции, времени уплотнения, уменьшение производительности, увеличенный износ механизмов и электрооборудования.

Список литературы:

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятия. 4 изд., перераб. и доп. М.: Энергатамиздат. 2000. 331с.
2. Смирнов С.С. Высшие гармоники в сетях высокого напряжения. Новосибирск: Наука, 2010. 327с.
3. Авербух М.А., Кожов Д.Н., Лимаров Д.С. Экспериментальная оценка уровня высших гармоник в схеме электроснабжения трубогибочного стана УЗТМ-465 // Промышленная энергетика, №1. 2015. С.48-54.

ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.,

Пахотин Е.Г., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В течение ряда лет в БГТУ им. В.Г. Шухова проводятся исследовательские работы, позволяющие совершенствовать смесительные машины принудительного действия для приготовления бетонных и сухих строительных смесей, а также качественных глиняных масс.

Процесс смешивания компонентов смесей достаточно сложный и, в значительной мере, носит случайный характер, при котором имеет место одновременное протекание частных процессов: конвективного, диффузионного и процесса сепарации.

При конвективном процессе происходит перемещение частиц компонентов из одного участка в другой через внедрение и относительное скольжение слоев смеси. Диффузионный процесс постепенно перераспределяет частицы различных компонентов в микрообъемах смеси. Процесс сепарации (разделения) всегда сопутствует смешиванию, особенно при повышенных скоростях механизмов смешивания и, вытекающего из этого процесса, явлению сегрегации – сосредоточению частиц, имеющих одинаковую массу в разных местах смесителя и объемах смеси под действием центробежных, гравитационных и инерционных сил.

Установлено, что рациональными параметрами смесительного аппарата и режимами его работы будут такие, которые вносят наименьшие возмущения в закономерности процесса смешивания, естественный ход которого оценивается экспоненциальной зависимостью. При выполнении этих условий интенсификация процесса смешивания за счет увеличения в некотором диапазоне частоты вращения смесительного рабочего органа при рациональной схеме расположения смешивающих элементов позволят значительно повысить и производительность машины, и качество получаемой смеси.

Обширные экспериментальные исследования, проведенные на бетоно- и глиносмесителях непрерывного действия как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением лопастных валов и на смесителях периодического действия для приготовления сухих

смесей, позволили выявить основные закономерности изменения качества смешивания от схемы установки на валах и частоты их вращения. Так, например, качество бетонной смеси после определенного числа воздействий на нее лопастного аппарата практически не улучшается [1]. Это утверждение справедливо и для получения сухих смесей в смесителях периодического действия [2]. Это объясняется уравнениями кинетика процессов смешивания в этих машинах, несмотря на разный оценочный подход:

$$S = a + (S_{max} - a)e^{-kt}, \quad (1)$$

где S – степень сепарации смеси, %;

S_{max} – максимально возможная степень сепарации смеси, соответствующая началу смешивания компонентов, %;

a, k – экспериментальные коэффициенты;

t – время смешивания, с.

$$V_c(t) = a \cdot V_H \cdot e^{-bt}, \quad (2)$$

где $V_c(t)$ – коэффициент неоднородности в конкретный момент времени t , %;

a, b – экспериментальные коэффициенты;

t – время смешивания, с.

Приведенные уравнения показывают, что процесс развития смешивания различных материалов является экспоненциальным. Графически это можно представить следующим образом:

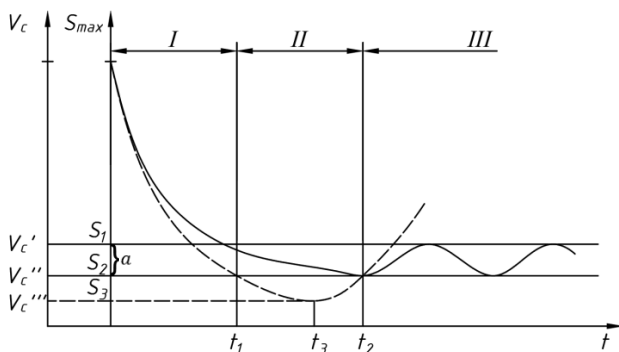


Рисунок 1 – Кривые кинетики процесса смешивания

Анализируя эту кривую, можно отметить, что в начальный момент смешивания t_1 , когда идет активное воздействие лопастей на компоненты смеси (зона I), процесс конвективного смешивания осуществляется на уровне макрообъемов с большой скоростью.

Когда компоненты смеси в рабочем объеме смесителя в основном распределены, начинается процесс перераспределения частиц на уровне микрообъемов и в зоне II наблюдается преобладание диффузионного процесса во времени t_2 . А далее действие на процесс оказывает сепарация частиц. В какой-то момент времени в зависимости от конструкции смесителя и физико-механических свойств смеси диффузионный процесс и процесс сепарации уравниваются и дальнейшее смешивание компонентов не целесообразно. Это позволяет, например, ограничивать длину корпуса смесителя непрерывного действия, его валов и, соответственно, уменьшать число лопастей, что приводит к снижению энергопотребления и затрат на смешивания, а в машинах периодического действия уменьшать время смешивания.

Увеличение скорости смешивания за счет увеличения частоты вращения смесительных лопастных валов или смесительного барабана – корпуса (при неподвижном лопастном аппарате), приводит к более быстрому достижению однородного состояния смеси, к увеличению активности поверхностей составляющих смесь компонентов, что приводит к изменению кривой кинетики смешивания с экспоненциальной на параболическую, т.е. появляется точка экстремума, которая в координатах кривой на рисунке 1 представлена пунктирной линией. То есть высказанные ранее возможности изменения габаритных размеров, числа лопастей в смесителях непрерывного действия, а также времени смешивания не только подтверждаются, но изменяются в сторону уменьшения. При этом следует отметить, что для двухвалных смесителей непрерывного действия важное значение имеет схема установки лопастей на валах, то есть чередование так называемых поточных лопастей на валах, продвигающих смесь от загрузки к выгрузке, и противоточных, которые частично возвращают смесь в обратную сторону. «Смешанная» схема, при которой противоточные лопасти устанавливаются с чередованием поточных по всей длине одного вала и в конце обоих, как подпорные для поддержания постоянного уровня заполнения корпуса смесителя, является наиболее приемлемой и работоспособной [3, 4, 5].

Конструктивные параметры этой схемы (шаг установки лопастей, угол поворота лопасти относительно вертикальной плоскости,

количество заходов лопастного винта) зависят от реологических свойств смешиваемых компонентов.

Как уже было сказано выше, увеличение количества воздействий смешивающего механизма на смесь в единицу времени в лопастных смесителях как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением валов, позволяет значительно интенсифицировать процесс смешивания и повысить качество смеси. Однако следует иметь в виду, что скоростной режим не должен превышать некоторого «критического» значения, при котором в результате действия возросших центробежных сил смесь начинает расслаиваться (такой процесс мы назвали «динамическим» сепарированием) [5].

Сегодня у всех применяемых в промышленности смесителей принудительного действия лопастной рабочий орган работает на скоростях значительно ниже их «критических» значений, что создает потенциальные возможности их модернизации.

Известные сегодня разработки и исследования за рубежом (особенно в Германии) и у нас в стране [6] позволяют сделать вывод, что наиболее перспективным направлением совершенствования смесительного оборудования для приготовления смесей разного типа являются машины с высокоскоростным режимом смешивания.

Список литературы:

1. М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др. под общ. ред. М.Б. Генералова. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. – М.: «Машиностроение», 2004. 832 с.
2. П.С. Горшков, Г.И. Чемерицко, Н.П. Несмеянов. Качественная оценка процесса смешивания в роторном спирально-лопастном смесителе // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Белгород: Изд-во БГТУ, В. 12. 2013. С. 469-472.
3. Г.И. Чемерицко, С.С. Чернов. Интенсификация процесса смесеобразования и ее влияние на производительность в двухвальных смесителях непрерывного действия. // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии (XVII научные чтения). Международная научно-практическая конференция. Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. С. 184-186.
4. Г.И. Чемерицко, Е.Г. Пахотин. Оценка работы лопастного аппарата в двухвальных смесителях непрерывного действия // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для

- производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Белгород: Изд-во БГТУ, В. 13. 2014. С. 349-352
5. Г.И. Чемеричко, Д.В. Карпачев. Влияние скорости вращения лопастного аппарата на основные параметры процесса смешивания в бетоносмесителях // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. С. 202-205.
 6. В.П. Воронов, Н.П. Несмеянов, П.С. Горшков. Спирально-лопастной противоточный смеситель для производства сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. №1 С. 66-69.
 7. П.С. Горшков, Н.П. Несмеянов. Новые способы комплексного снижения энергетических затрат при получении сухих строительных цементных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. №2 С. 49-52.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ПОМОЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ПВИ-БМ

Шаталов А.В., канд. техн. наук, доц.,
Тимофеев В.А., магистрант,
Шаталов В.А., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Измельчение материалов является весьма энергоемким процессом, зависящим от ряда факторов: размера, формы, фракционного состава, прочности, расположения зерен в слое, а также условий процесса измельчения, определяемые конструктивными особенностями измельчителя.

Проведенный нами анализ показал, что для создания эффективных помольных систем необходима реализация энергетически эффективных условий измельчения. Одним из таких эффективных способов является измельчение способом прессования, реализация которого наиболее целесообразна в валковых агрегатах [1,4].

Однако, не смотря на кажущуюся простоту, данный процесс является технологически довольно сложным и зависит от разных факторов: конструктивных особенностей измельчителя и режимов его работы, условий дозирования и деформирования материала. Кроме того, необходимо учитывать специфику измельчаемого материала (высокая прочность и, соответственно, плотность материала) и др. факторы.

Поэтому необходимо всесторонне исследовать процесс измельчения кремнеземистых материалов в данном агрегате, реализующего непосредственно раздавливающее или раздавливающее-сдвиговое воздействие рабочих органов на измельчаемый материал [2].

С целью установления общих закономерностей процесса измельчения кремнеземистых материалов в ПВИ было проведено моделирование процесса разрушения материала с использованием пресс-матрицы. Процесс разрушения слоя материала сопровождается одновременным уплотнением и прессованием частиц с последующим их деформированием. При этом энергия затрачивается как на указанные процессы, так и на преодоление сил внешнего и внутреннего трения. Рассматривая условия процесса разрушения частиц материала (рис.1) при многократном приложении силовой нагрузки, запишем уравнение для нахождения необходимого давления измельчения:

$$P_0 = [0,33\sigma_{сж} (2,03 + K_{ксс}) (1 + f_{вр} tg \psi_{\kappa}) + \mathcal{G}_{сц} tg \psi_{\kappa}] \alpha_{\kappa} \cos \alpha_n^2 \left[\exp \frac{2K_{\sigma} \cdot f_{вн} \cdot H_{изм} \cdot K_{\tau}}{D_z \cos \alpha_n} - 1 \right], \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности частиц при сжатии, МПа; $K_{ксс}$ - коэффициент силового воздействия, зависящий от кратности измельчения, $K_{ксс} = 0,5 \div 1$; ψ_{κ} - угол нормального контактного взаимодействия частиц, град; α_{κ} - относительная величина проекций суммарной контактной поверхности частиц при номинальном давлении; α_n - угол скоса прессующего пуансона, град; $f_{вр}$ - коэффициент внутреннего трения материала; $\mathcal{G}_{сц}$ - сопротивление, возникающее от сцепления поверхностей частиц при их сдвиговом деформировании, МПа; D_z - гидравлический диаметр, м; K_{σ} - коэффициент бокового давления; $f_{вн}$ - коэффициент внешнего трения материала; $H_{изм}$ - максимальное расстояние, на которое перемещается прессующий пуансон $H_{изм} = H_0 - h_{пл}$, м; K_{τ} - коэффициент деформации частиц.

Уравнение (1) может быть использовано при организации многостадийного процесса измельчения в помольном комплексе «ПВИ –БМ с ДВУ» [2]. Используя полученное нами выражение (1), а также конструктивно технологические параметры ПВИ, можно определить величину давления измельчения материала в валках ПВИ:

$$P_z = \frac{P_0 \cdot H_0 (1 - \exp - \frac{2K_{\sigma} \cdot f_{вн} \cdot H_{изм}}{D_z \cos \alpha_n})}{f_{вн} \cdot ctg \gamma \Delta \delta (f_{вн} ctg \gamma + 1)} [f_{вн} ctg \gamma ((1 - 2\delta / H_0) - (H_0 / \delta) (1 - f_{вн} ctg \gamma)) + 1] \quad (2)$$

где H_0 - исходная толщина слоя материала, м; δ - толщина деформируемого слоя материала, м; γ - угол захвата валков, град.

Учитывая зависимость P_0 от кратности измельчения, можно определить необходимое давление измельчения в пресс-валковом измельчителе, работающем в замкнутом цикле помола с БМ, оснащенной ДВУ [3].

Мощность привода ПВИ определяется по следующей формуле:

$$N_{ПВИ} = \frac{2\pi \gamma_n R_{срВ} P_{z \max} \sin \gamma_n / 180 \cos^2 \alpha}{\eta_{пр}} + \frac{\sqrt{(P_{z \max} \cos \alpha)^2 + G_m^2} \times f_{мп} r_u \omega}{\eta_{пр}}, \quad (3)$$

где γ_n - нейтральный угол, град; $R_{срВ}$ - средний радиус валков, град; ω - угловая скорость вращения валков, рад/с; α - угол конусности валков, град; $\eta_{пр}$ - к. п. д. привода валков ПВИ; G_m - сила тяжести

валков, Н; f_{mp} – приведенный к валу коэффициент трения качения, $f_{mp}=0,001$; r_u – радиус цапфы вала, м.

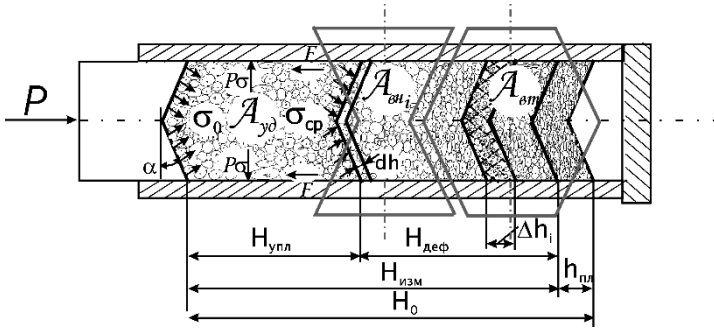


Рисунок 1 – Схема к определению усилий измельчения частиц при их раздавливающе-сдвиговом деформировании

При оснащении барабанных мельниц двухзаходными винтовыми устройствами [3] необходимо установить параметры, которые определяют геометрический профиль устройств, а также кинематику их взаимодействия с мелющей загрузкой. Используя схему, представленную на рис.2, были получены выражения для нахождения площади контакта устройств с мелющими телами.

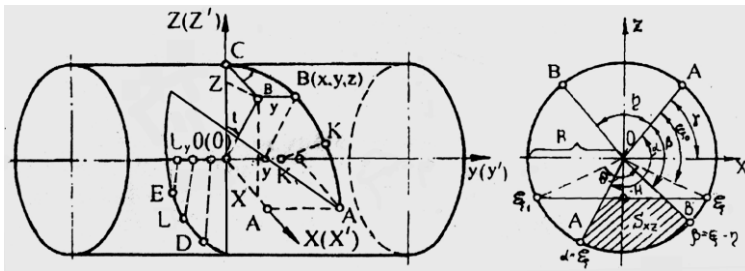


Рисунок 2 – Схема к расчету площади контакта ДВУ с мелющей загрузкой.

Проекция площади контакта ДВУ с м.т. необходима для нахождения прироста потребляемой мощности, определяемой по формуле:

$$\Delta N = N_1 + N_2 = \frac{8\pi\phi k R^4 \rho_{M3} \omega_{\phi M} g \text{ctg}^2 \alpha + (\pi + \Theta) (k_{ДВУ} \rho_{M3} \omega_{\phi M}^3 R^3 \cos^6(\Theta/4)) n p S^*(\xi)}{2\pi + 2\Theta}, \quad (4)$$

где N_1 - мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения при продольно-поперечном перемещении М.Т., вытесняемых ДВУ, Вт; N_2 - мощность, расходуемая на преодоление сил гидродинамического сопротивления при прохождении ДВУ через мелющую загрузку, Вт; $\rho_{мз}$ - плотность мелющей загрузки, кг/м³; $\omega_{бм}$ -угловая скорость вращения барабана мельницы, рад/с; $k_{дву}$ -коэффициент, зависящий от геометрии ДВУ.

Таким образом, нами были проведены исследования, направленные на изучение кинетики процесса измельчения стеклобоя в помольном комплексе ПВИ-БМ с ДВУ; изучен механизм измельчения кремнеземистых материалов при их раздавливающе-сдвиговом деформировании; получены аналитические выражения для определения усилия и работы измельчения, позволяющие произвести расчет основных энерго-силовых параметров ПВИ; а также расчет и проектирование двухзаходных винтовых устройств для барабанных мельниц различных типоразмеров.

Список литературы:

1. Шаталов А.В., Гордеев М.В. Энергосберегающий помольный комплекс // Передовые технологии в промышленности и строительстве на пороге XXI века: Сб. докл. Междунар. конф.- шк.- сем. молод. учён. и асп.- Белгород: изд-во БелГТАСМ, 1998. Ч.2. С.567-569.
2. Шаталов А. В., Дубинин Н.Н., Шевляков В.И. Энергосберегающий помольный комплекс // Экология и рациональное природопользование как фактор устойчивого развития: Сб. докл. Междунар. науч. техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. С.363-366.
3. Севостьянов В.С., Гончаров А.А. Барабанные мельницы с винтовыми энергообменными устройствами. // Стекло и керамика. 1990 г. №10. С.8-10.
4. Романович, А. А. Исследование процесса предуплотнения анизотропных материалов в пресс-валковом измельчителе / А. А. Романович // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 56–60.

К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ ПРОИЗВОДСТВ АГЛОМЕРАТА И ОКАТЫШЕЙ

**Щетинина И.А., канд. техн. наук, доц.,
Тихомирова Т.И., канд. техн. наук, доц.,
Щетинин Н.А., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В агломерационном и окатышевом производстве до 95% отходов образуется при очистке технологических газов, а остальная часть – пыль, уловленная в аспирационных системах.

Для рационального использования пылей и шламов производится их утилизация в качестве добавки к шихте. Причиной этого является сходство химических составов, а также возможность использования их непосредственно вблизи источников образования. Это снимает ограничение на объем утилизируемых продуктов, что благотворно сказывается на окружающей среде.

Обязательным условием утилизации продуктов очистки является правильная их подготовка к использованию, которая состоит в обезвоживании шламов до влажности 15-20%. Для этих целей эффективно использование вакуум-фильтров. Так как эти шламы являются полидисперсными, то перед обезвоживанием их необходимо классифицировать на две фракции. 0-0.3 и >0.3 мм. Последний процесс осуществляю в гидроциклонах. Количество взвеси в оборотной воде 100-120 мг/л, общее количество возвращаемого в производства продукта 250-300 тыс. т/ год. Экономический эффект ориентировочно может достигать несколько десятков миллионов рублей в год.

Для устойчивой работы вакуум-фильтров необходимо обеспечить стабильность нагрузки, связанную с плотностью пульпы и ее гранулометрическим составом. С целью интенсификации процессов сгущения и обезвоживания мелкодисперсных шламов эффективна добавки полиакриламида, расход которого составляет 60 г/т твердого вещества. Добавка этого реагента позволяет повысить нагрузку на оборудование на 10-40%.

Утилизация в агломерационной шихте продукта, полученного смешением отходов агломерационного производства с известью, может служить примером комплексного использования отходов различных металлургических производств, являющегося одной из насущных задач науки. Исследования показали, что добавка такого продукта,

составляющая 3-7% (по массе) увеличивает удельную производительность установки и существенно повышает качество получаемого агломерата. Экспериментами по выбору оптимального режима было установлено, что значительное влияние на процесс спекания оказывает продолжительность выдержки шламоизвестковых смесей перед их введением в агломерационную шихту: по мере увеличения выдержки в пределах до 30 мин полнее протекает процесс гашения извести и образуется сыпучий материал, зерна которого являются центрами окомкования агломерационной шихты.

Наряду с продуктами очистки газов от пыли на аглофабриках предприятий черной металлургии за год образуется около 0.5 млн. т шламов от оксидов серы (из расчета сухой составляющей). Очистка газов осуществляется в башенных скрубберах с применением известняковой суспензии, что обусловлено сравнительной дешевизной реагента и его распространенностью в природе. Коэффициент использования известняка составляет 40-55%, удельный его расход 4.1 т из расчета на 1 т уловленных диоксидов серы.

В настоящее время лишь очень небольшая доля шламов сероочисток передается на предприятия промышленности строительных материалов, где используется в составе шихты для производства цемента. В таком шламе повышено содержание соединений серы. Поэтому его вначале подвергают обжигу при температуре 1100-1150 С, что позволяет перевести часть серы из шлама в газовую среду в составе оксидов, которые впоследствии улавливаются для производства серной кислоты.

Предложен и опробован в лабораторных условиях метод утилизации шламов сероочисток вместе с граншлаками доменного производства. Этот метод позволяет получить материал, который может быть использован при производстве силикатного кирпича, шлакоблоков, тротуарных плиток и других изделий. Утилизация шламов сероочистки и граншлаков позволит не только расширить ассортимент местных вяжущих материалов, но и сократит загрязнение окружающей среды.

Шламы сероочисток аглофабрик не обладают вяжущими свойствами, но они активируют способность шлаков схватываться; при добавлении к шлаку воды они твердеют, хотя и очень медленно, и приобретают некоторую механическую прочность.

Другим не менее перспективным способом утилизации этих шламов является применение их в сельском хозяйстве в качестве мелиоранта для кислых, оподзоленных и солонцеватых почв. Как

показали эксперименты, добавка шлама сероочисток в почву улучшает пищевой режим растений, поскольку представляет собой дополнительный источник снабжения растений серой, являющейся важным микроэлементом в жизнедеятельности растений. Сульфиты кальция, будучи внесенными в почву в составе шламов, окисляются кислородом воздуха до сульфатов, а последние оказывают стимулирующее действие на рост растений. Заметим, что способность гипса повышать урожайность солонцовых почв использовалась еще древними римлянами и греками.

Также внесение шлама сероочисток в кислые почвы позволяет нейтрализовать их повышенную кислотность, кроме того, шламы связывают свободные ионы алюминия и железа, понижая их концентрацию до уровня, когда они перестают быть токсичными для растений, а также вызывают существенную перегруппировку различных форм фосфатов и органических веществ, что способствует продуктивности кислых почв.

Таким образом, вопросы утилизации пылей и шламов в черной металлургии достаточно обширны и полностью еще не решены.

Список литературы:

1. Толочко А.И., Филипов В.И., Филипьев О.В. Очистка технологических газов в черной металлургии. М.: Металлургия, 2002. 280с.
2. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии. Т.2. Шламы, шлаки, отходы: Справочник. М.; Экономика, 1996. 229 с.
3. Торочешников И.С., Радионов А.И., Кельцев Н.В. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 2001. 368 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДРОБЯЩИХ ПЛИТ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ПРОСТЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЩЕКИ

Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,

Вечканов А.В., студент,

Юрьева М.В., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В современной промышленности строительных материалов все также актуальны своей надежностью, простотой конструкции и обслуживания щековые дробилки. Они чаще всего применяются для крупного и среднего дробления кусковых материалов. Дробление материала происходит между подвижной и неподвижной щекой путем периодического нажатия подвижной щеки на материал. Основными параметрами, характеризующие щековые дробилки, является ширина загрузочной и разгрузочной щели. Шириной загрузочного отверстия определяется наибольший размер загружаемых кусков. От равномерности подачи материала и равномерности распределения его по длине загрузочной щели зависит производительность дробилки. Все щековые дробилки классифицируются по конструктивному исполнению на щековые дробилки с простым движением щеки и со сложным движением щеки. [1]

Щековые дробилки классического, простого движения имеют щеку, смонтированную непосредственно на неподвижно закрепленную ось. Плиты упираются шарнирно в нижней части шатуна, при этом одна из плит упирается в щеку, другая – в регулировочное устройство. Одним из элементов конструкции является эксцентриковый вал, посредством которого щека получает вращение. Конструкция щековой дробилки предусматривает нахождение двух плит, одна из которых выполняется надежно закрепленной, вторая же наоборот, подвижной, следовательно, подвергает материал воздействию. Таким образом, дробящие плиты являются рабочими органами дробилки, а следовательно, получают большую нагрузку и склонны к истиранию и излому. Совершенствование щековых дробилок производится по нескольким направлениям, и на сегодняшний день является весьма актуальным повышение долговечности дробящих плит.

Разрушение материалов посредством поверхностей различных конфигураций рассматривалось нами ранее при изучении дробилок валькового типа [2].

Технический результат заключается в уменьшении нагрузок на выступы дробящих плит за счет разрушения твердых пород и материалов изгибом под действием растягивающих напряжений и снижения сопротивления движению дробимых материалов в камере дробления. Это способствует уменьшению интенсивности изнашивания выступов дробящих плит и повышению их долговечности.

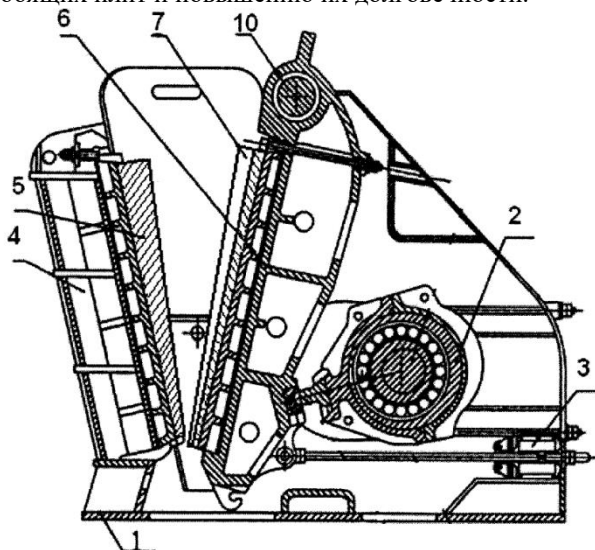


Рисунок 1 – Схематичное изображение щековой дробилки с простым движением щеки

Дробилка щековая содержит станину 1, привод 2, возвратный механизм 3, неподвижную щеку 4 с дробящей плитой 5 и подвижную 6 с плитой 7 (рис. 1). Рифление плит 5 и 7 выполнено в виде выступов 8 (рис. 2 а) и 9 (рис. 2 б) соответственно с переменным шагом и высотой, плавно уменьшающихся от входного отверстия камеры дробления к выходному, причем вершины выступов 8 дробящей плиты 5 расположены напротив впадин плиты 7. Выступы 8 и 9 выполнены наклонно к продольной оси дробящих плит 5 и 7 с увеличением угла наклона и расположены симметрично относительно нее. Такое конструктивное выполнение устройства щековой дробилки позволяет обеспечить разрушение твердых пород и материалов под действием растягивающих напряжений, снизить сопротивление движению дробимых материалов в камере дробления и тем самым уменьшить

нагрузку на выступы дробящих плит, что способствует снижению интенсивности изнашивания указанных выступов. Это обеспечивает увеличение долговечности дробящих плит и повышение надежности дробилки щековой.

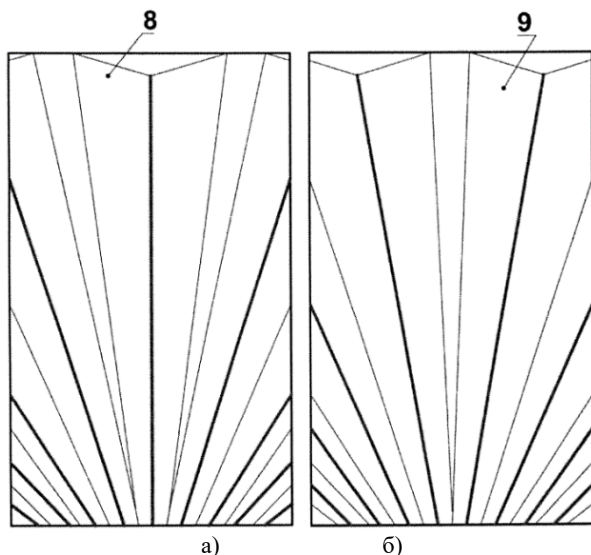


Рисунок 2 а) схематичное изображение дробящей плиты неподвижной щеки; б) схематичное изображение дробящей плиты подвижной щеки

Работа щековой дробилки осуществляется следующим образом. Подают напряжение на электродвигатель, приводящий в движение привод 2 и возвратный механизм 3, посредством которых подвижная щека 6 совершает качательное движение вокруг оси 10 по направлению к неподвижной щеке 4 и от нее. Затем во входное отверстие камеры дробления подают дробимый материал, который оказывается зажатым между дробящими плитами 5 и 7 с выступами 8 и 9, расположенными симметрично относительно продольной оси плит 5 и 7, а вершины выступов 8 дробящей плиты 5 расположены напротив впадин дробящей плиты 7. Под действием растягивающих напряжений дробимый материал подвергается разрушению изгибом с разделением последнего на несколько частей. Далее подвижная щека 6 с дробящей плитой 5 совершает качательное движение в направлении от неподвижной щеки 4. Образовавшиеся части дробимого материала продвигаются в сторону выходного отверстия камеры дробления под действием силы тяжести

так, что выступы 8 и 9 дробящих плит 5 и 7 не оказывают значительного сопротивления их движению. Затем подвижная щека 6 совершает качательное движение по направлению к неподвижной щеке 4 так, что образовавшиеся части дробимого материала оказываются зажатыми между дробящими плитами 5 и 7 с выступами 8 и 9. Под действием растягивающих напряжений дробимый материал подвергается разрушению изгибом с разделением последнего еще на несколько более мелких частей. Последующее измельчение дробимого материала происходит при каждом его продвижении в сторону выходного отверстия камеры дробления аналогично вышеописанному до тех пор, пока измельченный материал не разгрузится из камеры дробления.

Таким образом, конструкция щековой дробилки позволяет повысить ее надежность путем повышения долговечности дробящих плит, обеспечиваемого уменьшением интенсивности изнашивания выступов дробящих плит в результате снижения нагрузок на указанные выступы и уменьшения сопротивления движению дробимого материала в камере дробления. [3]

Список литературы:

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий . Старый Оскол: ТНТ, 2013. 680 с.
2. Вечканов А.В., Юдин К.А., Бирюков С.С. Устройство для равномерного распределения сырья на помольном столе вертикальной валковой мельницы [Электронный ресурс] / VII международный студенческий форум «Образование, наука, производство». Белгород, 2015.
3. Патент №135272 U1 РФ, МПК В02С1/10. Кольга А.Д., Айбашев Д.М., патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университетим Г.И. Носова"(RU), заявл. 26.07.2013, опубл. 10.12.2013.

СМЕСИТЕЛИ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ

**Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,
Вечканов А.В., студент,
Трубаева В.А., студент,
Крысина Ю.Н., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Переработка материалов предполагает использование разного рода смесительного оборудования. Актуальной является проблема повышения эффективности его эксплуатации. Одним из инновационных подходов является использование двунаправленного вращательного воздействия на смешиваемый материал в смесителях периодического действия со сферической смесительной камерой [1,2].

При вращении смесительной камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей получаем движение частиц смеси по траекториям свободного падения. В тоже время суперпозиция центробежных сил внутри камеры сферической формы заставляет частицы материала перемещаться по сложной траектории.

Технический результат достигается устройством для перемешивания материалов, содержащим смесительную камеру сферической формы, смонтированную на водиле, вращаемом вокруг горизонтальной оси и приводом вращения. Коническая передача для вращения непосредственно смесительной камеры вокруг второй горизонтальной оси дополнена цепной передачей [3].

Наличие цепной передачи позволяет снизить размеры конических шестерен передачи, вращающей непосредственно смесительную камеру, что сократит материалоемкость конструкции устройства для перемешивания материалов.

Сферическая форма смесительной камеры и варьирование частотой вращения с помощью частотного преобразователя целесообразны для устранения застойных зон загрузки, повышения интенсивности перемешивания и гомогенизации смеси.

Пространственные задачи для движения частиц смешиваемого материалов сферической смесительной камере решаются следующим образом.

Будем считать, что частица материала движется внутри смесительной камеры только под действием силы тяжести [4].

$$m_i \ddot{\vec{r}}_i = \vec{G}_i, \quad (1)$$

где m_i – масса i -й частицы, \vec{G}_i – вес i -й частицы.

Учитывая, что $G_i = m_i g$ и интегрируя дважды уравнение (1), получим

$$\begin{cases} \ddot{\vec{r}}_i = -g\vec{k}; \\ \dot{\vec{r}}_i = -g\vec{k}t + \vec{V}_{i0}; \\ \vec{r}_i = -g\vec{k}\frac{t^2}{2} + \vec{V}_{i0}t + \vec{r}_{i0}. \end{cases} \quad (2)$$

В общем случае, при отсутствии контакта выбранной частицы шарообразной формы с другими частицами и футеровкой смесительной камеры движение центров масс каждой частицы описывается уравнением:

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{i0} + \vec{V}_{i0}t + \frac{\vec{g}t^2}{2}. \quad (3)$$

Уравнение (3) в проекциях примет вид:

$$\begin{cases} x_i = x_{i0} + V_{ix0}t; \\ y_i = y_{i0} + V_{iy0}t; \\ z_i = z_{i0} + V_{iz0}t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (4)$$

Для каждой i -ой частицы можно определить время t_{ib} ее движения по параболической траектории до соударения со смесительной камерой. Граничное условие имеет вид:

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = (R_b - r_s)^2, \quad (5)$$

где R_b – радиус смесительной камеры, r_s – радиус частицы.

Уравнение (5) с учетом (4) принимает вид:

$$\begin{aligned} (x_{i0} + V_{ix0}t_{ib})^2 + (y_{i0} + V_{iy0}t_{ib})^2 + \left(z_{i0} + V_{iz0}t_{ib} - \frac{g}{2}t_{ib}^2\right)^2 = \\ = (R_b - r_s)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнение (6) является уравнением 4-го порядка и имеет четыре действительных корня. Поскольку изначально частица материала находится внутри смесительной камеры, то один корень будет всегда отрицательным, а необходимый корень является минимальным положительным.

Аналогично можно рассчитать время до соударения частиц $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| = 2r_s$, которое в скалярном виде выглядит так:

$$\begin{aligned}
& (x_{i0} + V_{ix0}t_{ijs} - x_{j0} - V_{jx0}t_{ijs})^2 \\
& + (y_{i0} + V_{iy0}t_{ijs} - y_{j0} - V_{jy0}t_{ijs})^2 \\
& + + \left(z_{i0} + V_{iz0}t_{ijs} - \frac{g}{2}t_{ijs}^2 - z_{j0} - V_{jz0}t_{ijs} \right. \\
& \left. + \frac{g}{2}t_{ijs}^2 \right)^2 = (R_b - r_s)^2
\end{aligned} \quad (7)$$

Рассмотрим соударение частицы материала со смесительной камерой. Будем считать, что положение частицы в течение удара не меняется, а происходит мгновенное изменение скорости центра масс частицы.

Запишем для частицы теоремы об изменении количества движения и об изменении момента количества движения [4]

$$\begin{cases} m\vec{V}_1 - m\vec{V}_0 = \vec{S}_n + \vec{S}_\tau; \\ J(\vec{\omega}_{1z} - \vec{\omega}_{0z}) = m_z(\vec{S}_n) + m_z(\vec{S}_\tau); \\ J(\vec{\omega}_{1y} - \vec{\omega}_{0y}) = m_y(\vec{S}_n) + m_y(\vec{S}_\tau). \end{cases} \quad (8)$$

где $J = \frac{2 \cdot m r^2}{5}$ – момент инерции частицы относительно оси, проходящей через ее центр масс;

ω_1, ω_0 – угловые скорости после контакта и до контакта;

S_n – импульс силы нормального давления;

S_τ – импульс силы нормального давления;

V_1, V_0 – скорость частицы после контакта и до контакта.

Спроецируем уравнение (8) на оси координат, привязанные к точке А на внутренней поверхности смесительной камеры (рис. 1).

$$\begin{cases} m\vec{V}_{1n} - m\vec{V}_{0n} = (\vec{S}_{1n}); \\ m\vec{V}_{1r_1} - m\vec{V}_{0r_1} = S_{1r_1}; \\ m\vec{V}_{1r_2} - m\vec{V}_{0r_2} = S_{1r_2}; \\ J\vec{\omega}_z = \sum m_z(\vec{S}_1); \\ J\vec{\omega}_y = \sum m_y(\vec{S}_1). \end{cases} \quad (9)$$

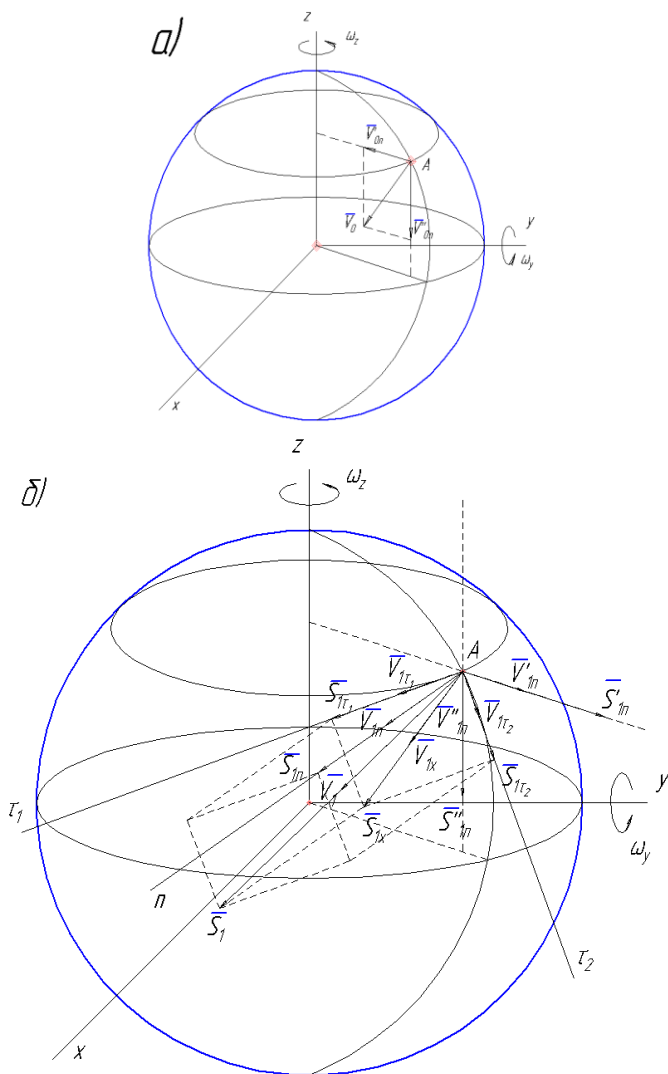


Рисунок 1 – Скорость в точке A: а) до соударения; б) после соударения

Использование двунаправленного вращательного воздействия на смешиваемый материал целесообразно при модернизации смесителей, применяемых при производстве газосиликатных изделий [5].

Расположенное на подвижном портале устройство для перемешивания кварцевого песка, цемента, извести, воды и алюминиевой пудры реализует двунаправленное вращательное воздействие на перемешиваемый материал. Газобетонотомешалка представлена на рис.2.

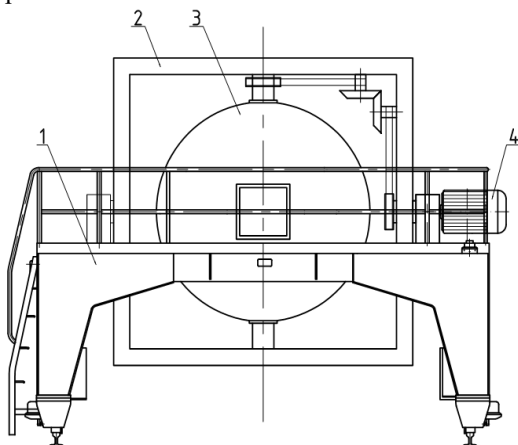


Рисунок 2 – Газобетонотомешалка линии по производству газосиликатных блоков:

- 1 – портал подвижный; 2 – водило;
3 – емкость смесительная; 4 – привод.

Выводы о возможности использования таких смесителей могут быть сделаны в результате сравнения рассчитанных с помощью разрабатываемой методики параметров процессов смешивания и производственных данных.

Список литературы:

1. Юдин, К.А., Дегтярь А.Н. Особенности движения материала в смесителе гироскопического типа. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 108-111.
2. Yudin, K.A., L.A. Kushev, I.N. Savkin and A. N. Negrun. Modeling mixers gyroscope type. // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8): 1125-1129. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.08.7086
3. Патент на полезную модель №144695 РФ МПК⁷В22С5/04 Устройство для перемешивания материалов. Юдин К.А., Богданов В.С., Савкин

- И.Н., Негрун А.Н., заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова (RU), №2014114674; заявл. 14.04.2014, опубл. 27.08.14. Бюл. №24. 4с.
4. Воробьев Н.Д. Математическое моделирование в процессах измельчения и классификации материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 397 с.
 5. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высшая школа, 1989. 384 с.