

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

**Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Белорусско – Российский университет
Евразийский национальный институт им. Л.Н. Гумилева
Карагандинский технический университет**

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Межвузовский сборник статей

Выпуск XIX

Выпуск посвящен 50-летию кафедры механического оборудования

**Белгород
2020**

УДК 691,002

ББК 38.3

Э 65

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.С. Богданов,

д.т.н., проф. Л.А. Сиваченко,

к.т.н., проф. Ю.М. Фадин,

к.т.н., доц. Н.П. Несмеянов,

к.т.н., доц. Ю. В. Бражник

Э65 Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. / под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2020. – 341 с. – Вып. XIX.

Изложены материалы исследований в области совершенствования техники и технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций; приведены новые конструкции оборудования для переработки строительных материалов, методики расчета конструктивных, технологических и энергетических параметров оборудования; рассмотрены вопросы эксплуатации и ремонта оборудования.

Материалы статей могут быть использованы инженерно-техническими работниками, аспирантами, занимающимися вопросами совершенствования оборудования и технологических комплексов предприятий стройиндустрии.

ISBN 978-5-361-00867-4

© Белгородский государственный
ISBN 978-5-361-00867-4 технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2020

Предисловие

Одной из первых в университете была создана кафедра "Механическое оборудование и технология машиностроения" (приказ №513 от 27.07.1970 г.). Первым заведующим этой кафедры был назначен к.т.н., и.о. доцента Н.С. Каракулов (14.08.1970). 10 сентября 1970 г. кафедра была реорганизована в кафедру "Механическое оборудование, детали машин и теория машин и механизмов" - заведующим был назначен к.т.н., и.о. доцента С.К. Красников.

Контингент студентов был набран на специальность 0562 "Механическое оборудование предприятий строительных материалов" из числа обучавшихся в Белгородском филиале Всесоюзного заочного политехнического института (дневное отделение).

В январе 1972 г. из состава существующей кафедры была выделена секция "Механическое оборудование".

Первый выпуск инженеров-механиков по специальности 0562 состоялся в 1972 году. Среди выпускников были:

В.Г. Струков, А.Н. Трондин, Я.Л. Певзнер, М.Д. Герасимов.

В 1977 году на кафедре была открыта аспирантура по специальности 05.02.16 «Машины и агрегаты производства стройматериалов».

С момента создания и до 17.05.1985 г. кафедру возглавлял В.Ф. Березовой, работавший ранее главным инженером Безмеинского цементного завода, а затем главным инженером цементного завода «Спартак».

В этот период на кафедре были созданы лаборатории, оснащенные действующими моделями технологического оборудования. В создании лабораторной базы кафедры активное участие принимали преподаватели, студенты, выпускники, и руководители предприятий города.

Контингент студентов составлял 4 группы дневной, две группы вечерней и 1 группа заочной формы обучения.

Кафедра пополнилась опытными преподавателями, имевшими богатый производственный и педагогический опыт: А.М. Шестаков, Е.Ф. Катаев, А.М. Фукс, А.В. Логинов, М.П. Покушалов, А.П. Обод, В.С. Бог-

данов, В.Б. Герасименко, И.С. Бакшеев, В.И. Пархоменко, Ю.М. Полянский, А.Н. Трондин, В.Г. Струков.

1977 год был знаменательным в жизни кафедры. По приказу Минвуза СССР была начата подготовка инженеров механиков по ускоренной 3-х годичной форме обучения. В состав студентов зачислялись руководители и главные специалисты предприятий, имеющие среднетехническое образование и опыт работы не менее 5-ти лет, в том числе 3 года в должности главного специалиста.

По 3-х годичной форме прошли обучение около 500 специалистов, которые явились «золотым фондом» промышленности строительных материалов. Впоследствии они возглавили около 300 организаций и предприятий ПСМ СССР, а многие их возглавляют до сих пор. В 1980 году на кафедре начата подготовка инженеров по 4-х годичной форме обучения. В 1987 году была изменена номенклатура специальности, в связи с этим вместо специальности 0562 в СССР начат выпуск инженеров-механиков по специальности 07.05.08 «Машины и аппараты химических производств и строительных материалов». В те годы для ПСМ в СССР инженеров-механиков готовили в 13-ти вузах различных городов страны в том числе: в Москве, Харькове, Белгороде, Минске, Львове, Тбилиси, Чимкенте, Фергане, Свердловске и др.

В связи с уходом на пенсию В.Ф. Березового зав. кафедрой с 17.05.85 по 1.07.87 года был назначен к.т.н., доцент Е.Ф. Катаев. В этот период продолжается совершенствование лабораторной базы кафедры разрабатывается современный дидактический материал.

С 1987г. по настоящее время заведующим кафедрой является д.т.н. профессор В.С. Богданов.

В 1986 г. группа молодых ученых кафедры: В.А. Уваров, С.И. Ханнин, Р.Р. Шарапов, А.С. Шаблов под руководством к.т.н., доцента В.С. Богданова за работы в области совершенствования техники и технологии измельчения материалов удостоена премии им. Ленинского Комсомола.

За комплекс научно-технических разработок В.С. Богданов, Ю.М. Фадин, С.И. Ханнин неоднократно удостоены Золотых, Серебряных, Бронзовых медалей и дипломов ВДНХ СССР. В 1987 году В.С. Богданову

за крупномасштабное внедрение на цементных заводах страны шаровых барабанных мельниц с поперечно-продольным движением мелющих тел присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель РСФСР». В этот период впервые в вузе наши изобретения (шаровые барабанные мельницы) были запатентованы в США, Англии, Франции, Германии, Испании, Венгрии, Италии, Китае, Японии и др. Получено более 50 патентов.

В 1999 году на базе Московского инженерно-строительного института было создано Учебно-методическое объединение (УМО) ВУЗов Российской Федерации по направлению «Строительство». В его составе на базе нашей кафедры была создана учебно-методическая комиссия (УМК) по специальности «Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций», председателем которой являлся д.т.н., проф. Богданов В.С., а Ученым секретарем доцент Струков В.Г. В состав УМК входили все ВУЗы, в которых осуществлялась подготовка инженеров-механиков.

В 2011 году при переходе на двухуровневую систему образования прием на специалитет был прекращен. Специальность «Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций» перешла в направление «Технологические машины и оборудование» по подготовке бакалавров. Данное направление имеет 4 профиля подготовки: «Технологические машины и комплексы предприятий строительных материалов», «Компьютерные технологии проектирования оборудования предприятий строительных материалов», «Технологические машины и оборудование для комплексной механизации строительства», «Машины и аппараты пищевых производств». Также на сегодняшний день на кафедре механического оборудования ведется подготовка по специальностям: - «Проектирование технологических машин и комплексов предприятий строительной индустрии», «Горное дело» со сроком обучения 5,5 лет.

Студенты - механики неоднократно становятся победителями международных и всероссийских конкурсов, лауреатами олимпиад

научных работ Министерства образования и науки РФ и Правительства РФ.

За эти годы сотрудниками кафедры издано 45 учебников и монографий, более 450 учебно-методических пособий, опубликовано более 1500 научных статей в центральных и зарубежных журналах, получено более 400 патентов РФ и зарубежных стран.

С 1993 года на кафедре работает диссертационный совет по защите докторских диссертаций по специальности 05.02.13-Машины, агрегаты и процессы. За эти годы защищено 7 докторских и около 100 кандидатских диссертаций.

С 2015 года ведется плодотворное сотрудничество с техническим университетом им. Агриколы (город Бохум, Германия). Ежегодно наши студенты проходят там обучение в течение двух семестров с выплатой им стипендии.

На сегодняшний день кафедра механического оборудования насчитывает 31 сотрудника, в числе которых 5 профессоров, 18 доцентов, 4 ассистента, 6 инженеров.

На кафедре проходят обучение 24 аспиранта.

С 2016 года на кафедре осуществляется обучение около 100 студентов из стран Азии, Африки, Латинской Америки. Процесс обучения осуществляется на английском языке. В 2020 году состоялся первый выпуск 23 таких студентов.



Заведующий кафедрой
Механического оборудования
БОГДАНОВ ВАСИЛИЙ СТЕПАНОВИЧ
доктор технических наук, профессор
Заслуженный изобретатель,
Заслуженный работник высшей школы,
Действительный член Академии проблем
качества и Международной
академии системных исследований

ГЛУБИННОЕ ВИБРОУПЛОТНЕНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ С ПРУЖИННЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ КОЛЕБАНИЙ

Абдукаликова Г.М., ст. преп.

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева.

Толеубаева Ш.Б., докторант,

Сулеймбекова З.А., докторант

Карагандинский технический университет

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.

Белорусско-Российский университет

Уплотнение бетонных смесей является важнейшей стадией строительного производства и оказывает еще большее влияние на свойства бетона, чем перемешивание [26; 63; 89]. Недоуплотнение или неравномерное уплотнение приводит к резкому уменьшению прочности бетона, ухудшает его долговечность и другие свойства. Из различных способов уплотнения бетонных смесей наибольшее распространение получило вибрирование, которое в монолитных конструкциях реализуется с помощью глубинных вибраторов [1; 2].

Для глубинного уплотнения бетонных смесей используется достаточно большое количество разнообразных по конструкции устройств, однако по принципу действия среди них преобладают вибрационные, а по техническому исполнению — уплотнители с рабочим оборудованием типа «булава» с приводом посредством гибко-20 вала или со встроенным в корпус излучателя колебаний электродвигателя. Действие виброколебаний на уплотняемую смесь в этих аппаратах осуществляется в горизонтальной плоскости, а основная модернизация виброизлучателей касается преимущественно их формы и вида поверхности (лопастные, разрезные, оребренные и другие вибронаконечники). Последнее обстоятельство продиктовано необходимостью увеличения излучающей поверхности для передачи большего количества энергии в уплотняемую среду [3; 4]

Имеющиеся научно-технологические наработки [5], основанные на исследовании влияния вибрирования на реологические характеристики, кинетику твердения и набор прочности цементного камня, показывают, что создание интенсивных вибрационных колебаний в уплотняемой бетонной смеси приводит не только к повышению плотности, но и увеличивает прочность бетона в 1,2...1,3 и более раза. Это представляется чрезвычайно важным обстоятельством в понимании выбора важнейших направлений повышения качества конгломератных

материалов на основе вяжущих веществ. Возможен перенос части работы активации в эту стадию технологического процесса, что является пионерным решением в общей технологии бетона. Убедительным доводом в пользу сказанного служит тот факт, что значительная часть вяжущих веществ в бетонных изделиях выполняет функции мелкого заполнителя [6,7].

Идеология создания нового вида оборудования для совмещения процессов глубинного уплотнения и механоактивации бетонной смеси сводится к приданию рабочему органу двух функций — вибро-24 виброизлучателя и механоактиватора. В качестве такого устройства может быть использована цилиндрическая пружина, витки которой совершают растягивающе-сжимающие перемещения вдоль своей оси. Приводной механизм пружинного излучателя колебаний основан на растяжении или сжатии витков пружины, что определяет его устройство и принцип действия в составе конкретного агрегата [8,9,10].

Принцип действия пружинного излучателя колебаний приведен на рис. 1, а характер излучения колебаний для варианта его расположения в реальных условиях уплотнения и управления оператором — на рис. 2.

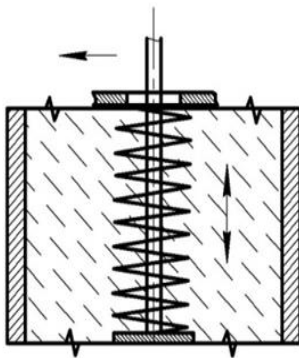


Рисунок 1. Принцип действия пружинного виброизлучателя колебаний



Рисунок 2. Характер излучения колебаний

В самом простом исполнении (см. рис. 3) виброуплотнитель содержит смонтированный на приводном валу кривошип 1, который с помощью шатуна 3, установленного в шарнире 2, соединен посредством поперечины 5 со свободным концом пружинного виброуплотнителя, состоящего из сопряженных между собой пружин 6, 7. Второй конец

пружинного рабочего органа упирается в стойку 4, а шатун 3 свободно проходит через зону взаимного перекрытия, образованную пружинами 6, 7.

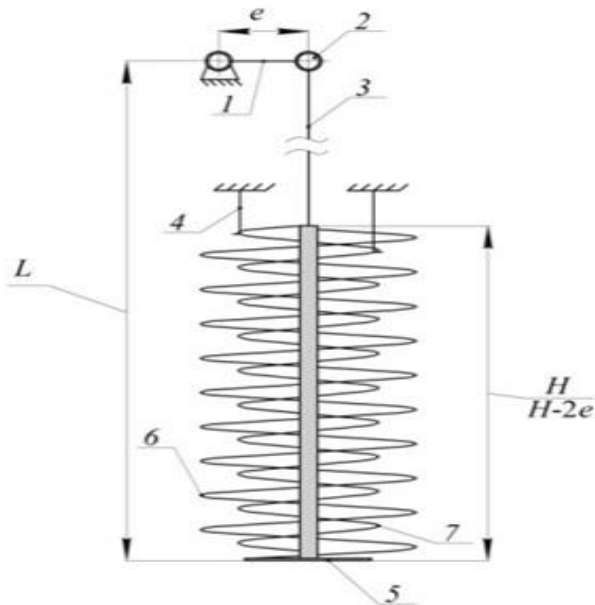


Рисунок 3. Кинематическая схема пружинного виброуплотнителя на основе пружины сжатия

Описанный механизм функционирует таким образом. При вращении кривошипа 1 шатун 3 приводится в возвратно-поступательные перемещения и с помощью поперечины 5 осуществляет периодические сжатия пружинного рабочего органа, который с такой же частотой за счет собственных внутренних сил упругости возвращается в исходное положение. Выполненный таким образом генератор колебаний погружается в бетонную смесь в целях ее последующего уплотнения.

На основе разработанного вибрационного механизма спроектируем технологический аппарат для проведения его полномасштабных натурных испытаний и создания в последующем пружинного виброуплотнителя промышленного назначения. Конструкция такого оборудования представлена на рисунке 4.

Рассматривая процесс активации компонентов бетонной смеси с помощью пружинного излучателя колебаний на основе математической

модели, учитывающей все виды внешних воздействий на эту динамическую систему, следует выделить особый механизм нагружения обрабатываемой массы, который заключается в том, что периодически сближающиеся между собой витки рабочего органа создают в объемах смеси значительные сжимающе-сдвиговые напряжения.

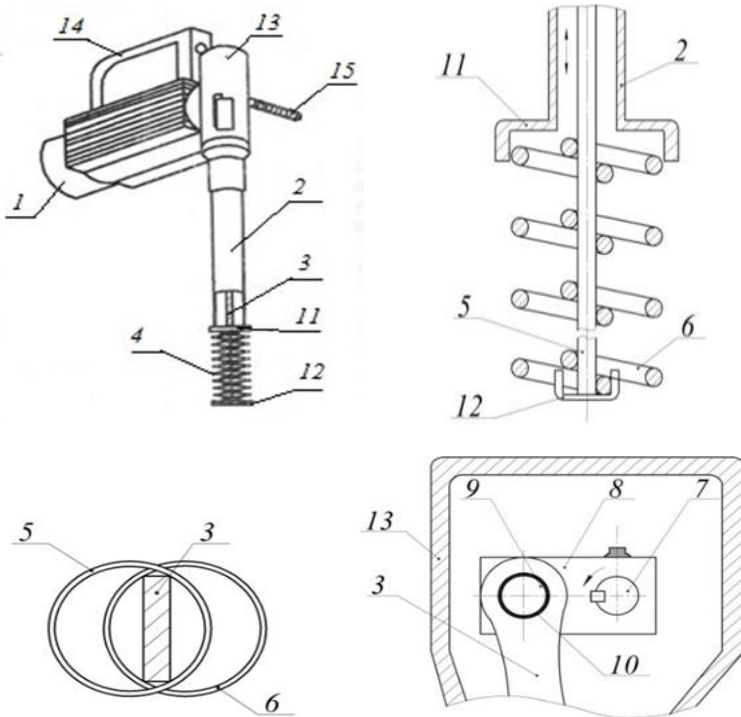


Рисунок 4. Конструкция пружинного виброуплотнителя с двумя совмещенными виброизлучателями:

а — общий вид пружинного виброуплотнителя; *б* — вариант монтажа пружинных излучателей колебаний; *в* — поперечный разрез составного виброизлучателя колебаний из двух помещенных друг в друга пружин; *г* — пример установки шатуна на оси кривошипа

Это позволяет, во-первых, произвести дополнительное диспергирование некоторого количества цемента, во-вторых, втереть значительную часть цемента в поверхность минеральных частиц и

вытеснить из нее мелкие пузырьки воздуха, в-третьих, образовать более однородную и плотную структуру бетонного камня. Общим итогом этой обработки является увеличение активной поверхности взаимодействия между собой всех компонентов бетонной смеси и, как следствие, улучшение качества бетонных изделий.

В ходе исследований установлено, что пружинный виброуплотнитель позволяет эффективно уплотнять практически все виды бетонных смесей независимо от их жесткости, гранулометрического состава, высоты уплотняемого слоя. При этом по сравнению с контрольными образцами, уплотненными на стандартных вибраторах, плотность массива, обработанного пружинными агрегатами, повышается не менее чем на 50 кг / м^3 , что явно свидетельствует о более высоком качестве уплотнения и возможном эффекте механоактивации.

Для выполнения технологических был спроектирован и изготовлен опытный образец пружинного виброуплотнителя, который изначально предназначен для проведения целой гаммы технологических испытаний на бетонных смесях действующих предприятий. Изготовленный аппарат полностью соответствует по конструкции схемам, приведенным на рисунках 3 и 4. Его общий вид представлен на рисунке 5, комплект основных узлов и агрегатов — на рис. 6.



Рисунок 5. Общий вид опытного образца пружинного виброуплотнителя

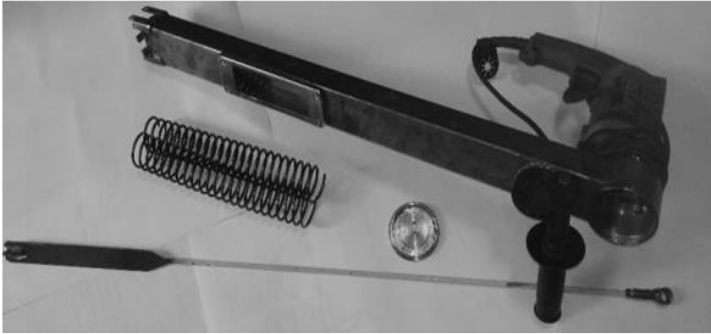


Рисунок 6. Комплект основных узлов и агрегатов
опытного образца пружинного виброуплотнителя

На первом этапе экспериментальных исследований пружинного виброуплотнителя была проведена нагрузочная способность устройства, для чего проведены испытания по его работе в бетонной смеси с крупностью заполнителя 10...20 мм и осадкой корпуса 3...5 мм с погружением пружинного виброизлучателя на полную длину. Исследовалось влияние частоты колебаний виброизлучателя на потребляемую мощность для различных значений величины эксцентриситета кривошипа. Результаты испытаний представлены в графической форме на рис. 7.

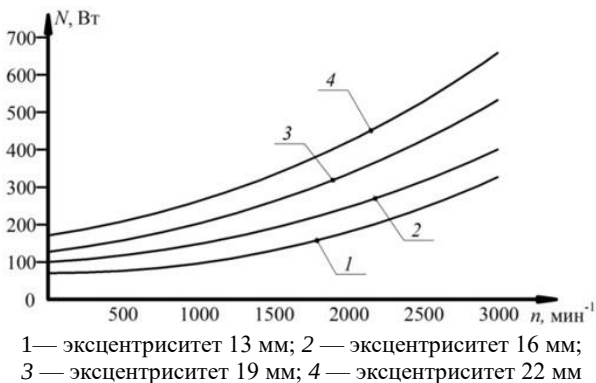


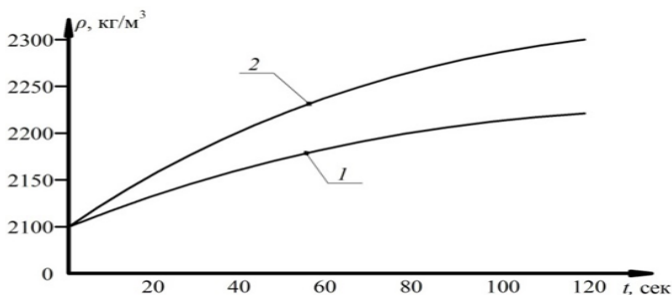
Рисунок 7. Влияние частоты колебаний виброизлучателя на потребляемую
мощность

На основании этих испытаний можно констатировать ряд заключений в работе пружинного виброгенератора колебаний. Вопервых, четко прослеживается влияние частоты и амплитуда колебаний шатуна на потребляемую электроприводом мощность, во-вторых, что важно для конкретной конструкции, мощности двигателя оказалось достаточно для всех режимов работы при условии полного погружения виброизлучателя колебаний в бетонную смесь, в-третьих, помещение шатуна непосредственно в зону перекрытия цилиндрических пружин обеспечивает их требуемую устойчивость и ограничивает резонансные явления, которые проявляются в холостом режиме работы. Выявлены две зоны резонансных частот, но кроме визуального наблюдения они не исследовались. В будущем планируется использовать явления резонанса для управления процессом уплотнения.

Следует заметить, что, как это отмечается и при работе пружинных мельниц, при отсутствии обрабатываемого материала вибрация пружин существенно возрастает, а потребляемая мощность при форсированных параметрах вибрации составляет более 50 % мощности, которая расходуется в работе с уплотняемым материалом. Способность виброуплотнителя работать по методу «протяжки» подтвердилась в полной мере, причем для этого не требуется прилагать особых усилий, а оператору перемещать пружинный виброуплотнитель проще всего на «себя» при установке его под углом $60...75^\circ$ к горизонту.

Далее для исследования конкретных технологических возможностей пружинного виброуплотнителя были проведены испытания по влиянию времени виброобработки на плотность ρ уплотненного бетонного массива. Для этого приготовленную бетонную смесь по аналогии с предшествующим опытом уплотняли в небольшом объеме, а из-за ограничения по количеству опытов и их трудоемкости исследовались два режима работы виброуплотнителя. Первый: частота колебаний шатуна $n = 40$ Гц, амплитуда колебаний $A = 26$ мм; второй: $n = 40$ Гц, $A = 38$ мм. Результаты испытаний показаны на рисунке 8.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что уплотнение бетонной смеси в пружинных виброуплотнителях приводит к значительному повышению плотности бетона, следовательно, к увеличению его прочности. Прослеживается хорошая корреляция между параметрами вибрации и временем обработки бетонной смеси. При этом после 120 с вибрирования прирост плотности бетонного массива прекращается.



- 1 — частота колебаний $n = 40$ Гц, амплитуда колебаний $A = 26$ мм;
 2 — частота колебаний $n = 40$ Гц, амплитуда колебаний $A = 38$ мм

Рисунок 8. Влияние времени обработки бетонной смеси на плотность уплотненного бетона

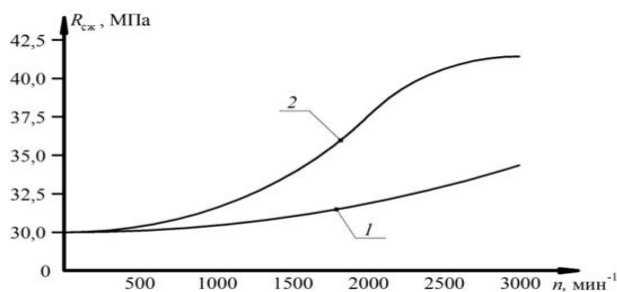
Максимальное увеличение плотности бетона на 100...200 кг / м³ по сравнению с контрольными образцами, т. е. полученными при ручном уплотнении, являются ценной информацией, которая показывает высокую эффективность работы пружинного виброуплотнителя и вызывает необходимость проведения дополнительных исследований по установлению влияния параметров вибрации на показатели качества получаемого бетона.

В качестве примера рассмотрим влияние частоты колебаний шатуна (пружинных излучателей) на прочность образцов затвердевшей бетонной смеси. Амплитуды колебаний, как и в предыдущих опытах, приняты равными 26 и 38 мм, что в пересчете на колебания отдельных витков дает значения 1,18 и 1,73 мм.

Исследуемая бетонная смесь приготавливалась на гранитном щебне крупностью 10...20 мм, кварцевом песке с модулем крупности $M_{кр} = 1,58$ мм и портландцементе Кричевского цементного завода марки М500. Приготавливалась бетонная смесь с $B / Ц = 0,4$ с осадкой конуса 30...50 мм. После уплотнения в течение 30 с и стадии затвердевания получали образцы — кубы с длиной ребра 100 мм, которые после набора прочности подвергались испытаниям на сжатие. Результаты испытаний приведены на рисунке 9.

В пределах возможных для реализации частот вращения приводного звена пружинного виброуплотнителя установлено, что прочность образцов бетона повышается по сравнению с контрольными образцами в

диапазоне частот колебаний 25...50 Гц на 5...14 % при амплитуде колебаний $A = 26$ мм и на 15...35 % при амплитуде колебаний $A = 38$ мм.



- 1 — амплитуда колебаний штока 26 мм;
2 — амплитуда колебаний штока 38 мм

Рисунок 9. Влияние частоты колебаний пружинного виброуплотнителя на прочность бетона

Увеличение амплитуды колебаний способствует передаче большего количества энергии в уплотняемую среду, что активизирует контактные взаимодействия на поверхности исходных компонентов, приводит к дезагрегации цемента и лучшему удалению воздуха с внешних слоев минеральных частиц.

Проведенные исследования пружинного способа уплотнения бетонных смесей охватывают только минимальную, необходимую для понимания основных процессов часть, которая показывает несомненную перспективность направления и его значимость для практического использования. Безусловно, здесь требуется выполнение широкого спектра исследований по изучению влияния геометрических, кинематических и энергетических параметров пружинных виброуплотнителей на их технологическую и экономическую эффективность, эксплуатационную надежность, эргономичность и ряд других показателей их работы.

В данной работе не рассмотрены технические решения других уплотнителей на основе упругих элементов, например, синусоидальных спиралей, пластин, оболочек и др. К их более детальной оценке целесообразно вернуться после соответствующих исследований пружинного способа уплотнения как обладающего необходимой

функциональной полнотой этого направления проектирования оборудования для уплотнения бетонных смесей.

Библиографический список:

1. Дроздов А.Н. Строительные машины и оборудования/А.Н. Дроздов. –М.: Изд. Цент. «Академия», 2012 – 448 с.
2. Мосаков Б.С. Основы технологии монолитного строительства/Б.С. Мосаков // Новосибирск, СГУПС, 2003.-258 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона/ Ю.М.Баженов//М., Высшая школа,1978.-455 с.
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона/И.Н. Ахвердов//М.Строиздат, 1981-464 с.
5. Хайнике Г.Трибохимия / Г.Хайнике: Пер. с англ.М.Г.Гольдфельда,-М.Мир, 1987,-594 с.
6. Ахвердов И.Н. Технология железобетонных изделий специального назначения/И.Н.Ахвердов, Минск, навука і тэхніка, 1993, -240 с.
7. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан №28724 «Способ уплотнения бетонных смесей» по заявке №2013/1026.1 от 31.07.2013. Авт. Унаспеков Б.А.,Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Опубл. 15.07.2014, бюл. №7.
8. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан №2724 «Способ уплотнения бетонных смесей» по заявке №2013/1026.1 от 31.07.2013. Авт. Унаспеков Б.А.,Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Опубл. 15.07.2014, бюл. №7.
9. Сиваченко Л.А. Пружинные виброуплотнители для глубинного уплотнения бетонных смесей / Л.А. Сиваченко, Л.П. Явенков, Г.М. Абдукликова // Межвузовский сб.статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2013, - С.398-402.
10. Сиваченко Л.А. Глубинный виброуплотнитель бетонных смесей с пружинным излучателем колебаний / Л.А. Сиваченко, Г.М. Абдукаликова // Межвузовский сб.статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2015, - С.197-300.

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Абильдин С.К., канд. техн. наук, доц.,

Кропачев П.А., канд. техн. наук, доц.,

Аубакирова Б.Б., докторант,

Мухамеджанова А.Т., докторант

Карагандинский технический университет,

Караганда, Казахстан

В условиях интенсивного роста мегаполисов и развития агломераций в Казахстане все больше возводятся здания и сооружения, отличающихся уникальными строительными и технологическими параметрами и сложными конструктивными решениями, что связано с повышенными требованиями к безопасности и технико-экономическим рисками. Решение комплекса проблем, обусловленных реализацией таких проектов, требует высокой квалификации всех участников строительного процесса – изыскателей, проектировщиков, подрядчиков.

Важными факторами при возведении подобных объектов являются достаточно короткие сроки изысканий, проектирования и возведения при наличии серьезных проблем, вызываемых плотной городской застройкой, сложными инженерно-геологическими условиями, нестандартными нагрузками и воздействиями, производством строительного-монтажных работ на значительной высоте.

Согласно требованиям действующего в нашей стране стандарта для объектов повышенного уровня ответственности, к которым относятся все уникальные и технически сложные здания и сооружения, устанавливается обязательное проведение научно-технического сопровождения с мониторингом несущих конструкций на всех этапах строительства. Следует отметить, что научно-техническое сопровождение и мониторинг таких объектов являются дополняющими существующие формы контроля действенными инструментами по обеспечению требуемого уровня безопасности и качества строительства. Эффективность их проявляется главным образом за счет научно обоснованных технических и организационных решений по оперативному выявлению, прогнозированию и предотвращению рисков.

Технический мониторинг зданий и сооружений в целом представляет собой проверку функционирования различных систем: эксплуатационной надежности основания, несущих и ограждающих конструкций, инженерных сетей и систем и т. д. Все это включает реализацию комплекса инженерных исследований, в том числе –

геодезических измерений, инженерно-геологических изысканий, измерения возможных деформаций. Общую структуру системы технического мониторинга строительных объектов можно представить в соответствии с рис. 1.



Рисунок 1. Система технического мониторинга строительных объектов

Технический мониторинг зданий и сооружений. Представляет собой систему контроля и наблюдений, которые производятся регулярно, согласно определенной программе. Данная система может дать оценку фактического технического состояния здания и сооружения, проанализировать происходящие процессы и своевременно выявления тенденции негативных изменений.

Наблюдение. Представляет собой систему мероприятий, которые обеспечивают определение параметров, характеризующих фактическое техническое состояние объекта наблюдения, отдельных его элементов, видов воздействия на него.

Система контроля. Основная ее функция - сопоставлять полученные данные о фактическом техническом состоянии объекта наблюдения с установленными критериями и нормами воздействия, с целью оценки их соответствия [1].

Существует 4 этапа технического мониторинга строительных объектов, их взаимосвязь представлена на рис. 2.



Рисунок 2. Этапы технического мониторинга строительных объектов

Мониторинг строительных объектов охватывает круг вопросов, описывающих обеспечение эксплуатационной надежности строительных объектов, разработку проектной документации по их реконструкции, проведением нужных ремонтно-восстановительных работ.

На примере России можно рассмотреть внедрение Структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). Указанная система внедрена на ряде промышленных объектов с 2012 года.

Основное назначение СМИС - автоматический мониторинг систем инженерно-технического обеспечения, состояния основания, строительных конструкций строительных объектов, технологических процессов, сооружений инженерной защиты. Она в режиме онлайн передает информацию об угрозах в органы управления РСЧС. Сама СМИС была создана после цепи терактов в Российской Федерации в 1990-2000 годах, и цель ее создания. При разработке данной системы группа разработчиков опиралась на требования ГОСТ Р 22.1.12-2005. Согласно п. 4.9 ГОСТ Р 22.1.12-2005, СМИС обязательно устанавливается на технически сложных и уникальных объектах и потенциально или особо опасных объектах.

Проведя анализ систем, которые, применяются для технического мониторинга в строительстве и для мониторинга состояния зданий, можно сделать заключение, что в состав АИС должна состоять из:

- комплекса контролирующих средств, представляющий собой определенный набор датчиков и измерительных приборов;
- многофункциональной кабельной системы;
- сети передачи информации;
- системы сбора и обработки информации.

В систему сбора и обработки информации обязательно должны входить: серверы ввода-вывода, локальная и (или) глобальная

вычислительные сети, рабочие станции диспетчеров, программный комплекс, способный обрабатывать поступающую от датчиков информацию.

В комплекс контролирующих средств должны входить:

- сейсмодатчики (актуально для сейсмоопасных районов, районов с подземным строительством и т.д);
- аналоговые и (или) цифровые датчики контроля всевозможных технологических параметров.

В многофункциональную кабельную систему включаются: кабеленесущие конструкции; электрические и слаботочные кабели; коммутирующие устройства.

Классификация датчиков, применяемых в системах технического мониторинга длительно эксплуатируемых строительных объектов:

Инclinометр, наклонметр - измеряют угол наклона при различных статистических и динамических отклонениях строительных конструкций по горизонтальной и вертикальной поверхностям. Датчик устанавливается на бетонные и металлические поверхности с помощью анкерных креплений. Применяется для мониторинга мостов, опор исторических зданий и сооружений, бетонных плотин, подпорных стен.

Тензометр - мониторинг деформационных отклонений выполняется струнными тензометрами - позволяют оценивать напряжения в стали или массивных бетонных конструкциях. Термистор, встроенный в датчик, дает информацию о температурных воздействиях. Струнные тензометры могут привариваться дуговой сваркой (трубы, туннели, сваи и мосты) либо закладываться при строительстве для измерений деформации в бетонных конструкциях.

Акселерометр - универсален при мониторинге колебаний конструкций (зданий, мостов, большепролетных сооружений, оснований зданий, дамб, плотин). В основе работы акселерометра лежит концепция форс- балансных серво-акселерометров с инертной массой, связанной с катушкой в магнитном поле. Датчик имеет электронную настройку смещения нуля, что упрощает его настройку.

Экстензометр - датчики используются в сочетании с инклинометрической обсадной трубой из АБС-пластика и магнитными кольцами для измерения осадки или вздувания. Они соединены между собой нержавеющей стальной проволокой или стержнями. Располагаются на разной глубине, в точке осадки, базовой точки на устья, на забое скважины.

Магнитные кольца доступны в разных вариантах: для скважин (тип «паук») и для фундаментов (тип «пластина»). Измерения выполняются зондом вертикального инклинометра и зондом, фиксирующим магнитные метки.

Различные климатические сенсоры - сенсоры влажности и температуры измеряют и контролируют относительную влажность и температуру внутри помещений и т. п.

Сенсоры скорости и направления ветра измеряют горизонтальную скорость и направление ветра, что важно для высотных и широкопролётных строений.

Применяемые в АИС датчики и алгоритмы засвистят решаемой задачи. Подбор цифровых технологий зависит от вида здания или сооружения, района его строительства, климата и прочих факторов. Акселерометры чаще всего устанавливают на мостах - измеряют частоту колебаний, если здание или сооружение находится в сейсмически активных районах, на общественных, спортивных сооружениях, но на общественных зданиях, особенно не высоких, устанавливать их смысла нет.

Из всего вышесказанного следует, что проектировщики АИС технического мониторинга строительных объектов должны решать задачу соответствия АИС и применяемых для технического мониторинга датчиков и их параметров типу контролируемых строительных объектов.

Научно-техническое сопровождение и мониторинг позволяет решить сложные конструктивно-технические и строительно-технологические проблемы, которые могут возникнуть на любых этапах жизненного цикла уникальных и технически сложных зданий и сооружений ввиду отсутствия аналогов в отечественной и мировой практике.

Одним из условий научно-технического сопровождения и мониторинга указанных объектов является то, что эти работы должны осуществляться аккредитованной организацией, которая не разрабатывала проект. Это обусловлено тем, что действующие в Казахстане строительные нормы в большинстве случаев не содержат требований к проектированию технически сложных и уникальных объектов, которые характеризуются особыми и, как правило, ранее не применяемыми архитектурными, объемно-планировочными, конструктивными, инженерно-технологическими решениями. Комплекс работ по научно-техническому сопровождению уникальных и технически сложных объектов является в этом случае основой для

выработки недостающих нормативных положений или разработки отсутствующих норм.

Таким образом, основной целью научно-технического сопровождения строительства уникальных и технически сложных зданий и сооружений является обеспечение высокого качества выполняемых строительно-монтажных работ, надежности несущих конструкций и безопасности объектов в целом в процессе возведения, а также при последующей эксплуатации за счет заблаговременного прогнозирования и предотвращения возможных рисков.

Библиографический список:

1. Леденёв В.В. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений : учебное пособие / В.В. Леденёв, В.П. Ярцев. – Тамбов: Изд-во ФГБОУВО «ТГТУ», 2017. – 252 с.
2. Байджанов Д.О., Токанов Д.Т., Кропачев П.А. и др. Натурные исследования усиление монолитных железобетонных конструкций углеродными фиброволокнами / Труды университета, Караганда: КарГТУ, 2009, вып.3(36).- С.52-54.

АНАЛИЗ РЫНКА КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК

Анциферов С.И., канд. техн. наук, доц.,

Карачевцева А.В., студент

Обернихин А.А., студент

Ефременко С.А., студент

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

В отечественной и зарубежной практике при осуществлении дробления широко используются конусные дробилки. Они являются высокопроизводительными машинами, используются на всех этапах дробления при обработке самых разных минералов и материалов как по величине измельченного материала, так и по разнообразию физико-механических свойств. Исключением можно считать материалы и минералы, которые имеют структуру плит или содержат фракции глины с высокой влажностью [1].

В первом случае, возможна перегрузка приводного двигателя дробилки или увеличение размера готового продукта; во втором-частая работа защитной амортизационной системы и засорение дробильной камеры не дробимым материалом [2].

Конусные дробилки в зависимости от назначения разделяют на дробилки для крупного (ККД), среднего (КСД) и мелкого (КМД) дробления. Существенное различие ККД от других видов заключается в том, что они характеризуются от типа размера и могут принимать куски горной породы размером 400-1200 мм, имеют выходную щель 75-300 мм и производительность 150-2600 м³/ч.

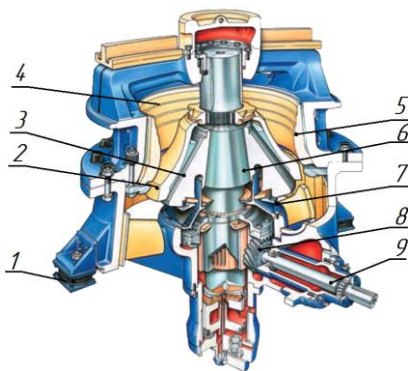


Рисунок 1. Схема конусной дробилки

Сырьевой материал подаётся в рабочую зону, через загрузочное отверстие 4. Рабочая зона включает в себя: подвижный конус 4 и неподвижный конус 5. Первый жёстко закрепляется на эксцентриковом валу 6. Если в рабочую зону дробилки попадает недробимый материал, то срабатывает защитный механизм 1. Привод машины состоит из приводного вала 9, соединённого с конической зубчатой передачей 8.

Конусные дробилки характеризуются: большой степенью измельчения, высокой эффективностью, а также имеют малые расходы на быстроизнашиваемые детали, и низкую себестоимость.

В отечественной промышленности выпускают следующий ряд дробилок ККД: 500, 900, 1200, 1500 мм (по ширине приёмного отверстия). Дробилки КСД и КМД характеризуются диаметром основания подвижного конуса и выпускаются типоразмером 600, 900мм (КСД) ; 1200, 1750, 2200 мм (КСД и КМД) . В настоящее время, ведётся работа по созданию дробилок с диаметром конуса 2500 и 3000мм [1].

В дробилках КСД можно дробить куски материала размером 75-300 мм; размер выходной щели 10-90мм, производительность 19-580 м³/ч [1].

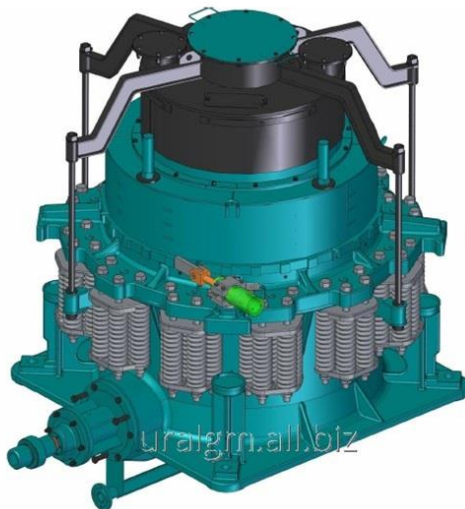


Рисунок 2. Общий вид КСД

На ряду с отечественными производителями, также существуют и зарубежные производители. Финская компания «Metso» активно выпускает и продаёт свои конусные дробилки. Эти дробилки используют уникальную технологию «Multi-Action», которая совмещает в одной дробилке вращающуюся чашу и поршень в одной дробилке. Технология «Multi-Action» приводит к снижению операционных затрат, увеличению коэффициента технической готовности и более стабильному качеству конечного продукта. Технология «Multi-Action» обеспечивает динамическую регулировку и компенсацию износа без необходимости остановки технологического процесса. Она также автоматически оптимизирует защиту от попадания недробимых частей материалов [2].



Рисунок 3. Конусная дробилка Metso MX

Таблица 1

Технические характеристики машины

Модель	Metso MX 3
Мощность	220 кВт (300 л.с)
Максимальное загрузочное окно	232 мм
Диаметр конуса	1,050 мм
Габариты	3,400x2,490x2,845мм
Вес	16,600 кг
Максимальная производительность	300-420 мт/ч

В настоящее время продолжают исследования в области конусных дробилок. Учёные разрабатывают новые конструкции конусных дробилок для повышения производительности, уменьшения энергозатрат на производство, уменьшения металлоёмкости машины и её автоматизации.

Библиографический список:

1. Бауманов В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций, 1981. - 42с
2. Завод горных машин [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zgm.su/stati/konusnye-drobilki>

ЩЕКОВАЯ ДРОБИЛКА С БОЙКАМИ ИМПУЛЬСНО-УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Щековые дробилки применяют в настоящее время в горнорудной промышленности и в промышленности строительных материалов в качестве оборудования для дробления негабаритных кусков материала горной породы.

В данной статье предлагается описание конструкции щековой дробилки, позволяющей оказывать в дополнение к сжимающему усилию еще и импульсно-ударное воздействие бойками. (см. рис. 1).

Щековая дробилка включает корпус 1 на котором размещено загрузочное отверстие 18 и разгрузочное отверстие 19, неподвижную щеку 2, подвижную щеку 3 с нижней осью 4 ее качаний, привод 5 подвижной щеки 3. В неподвижной щеке 2 выполнены сквозные отверстия 6, 7, 8, 9, в которых вставлены бойки 10, 11, 12, 13, каждый из бойков соединен, например, с гидроприводом 14, 15, 16, 17, бойки 10, 11, 12, 13 смонтированы таким образом, что они проходят сквозь отверстия 6, 7, 8, 9 в неподвижной щеке 2 и выступают за пределы неподвижной щеки в сторону подвижной щеки 3.

В исходном положении бойки выступают на минимальное расстояние, а в рабочем состоянии они выступают на расстоянии δ , равное ширине B разгрузочной щели 19 щековой дробилки. Каждый из бойков 10, 11, 12, 13 имеет собственный гидропривод 14, 15, 16, 17 включающийся в момент, когда кусок измельчаемого материала 20, 21, 22, 23 заклинивает напротив бойка и не опускается в низ, в этот момент включается гидропривод бойка, обеспечивающий ударно-импульсное его движение. Боек выдвигается на расстояние B , разрушая кусок материала после чего возвращается в исходное положение.

Работает щековая дробилка следующим образом. Включается привод 5, подвижная щека 3 начинает совершать возвратно поступательное движение относительно оси 4, через загрузочное отверстие 18 в щековую дробилку подаются куски 20, 21, 22, 23, измельчаемого материала. В этот момент бойки 10, 11, 12, 13 располагаются в исходном положении минимально на расстоянии, а выходят из отверстий 6, 7, 8, 9, по мере разрушения куска 20, он под

действием силы тяжести перемещается в сторону разгрузочного отверстия 19, и если размер куска становится меньше ширины. Вследствие уменьшения нагрузки на бойки 9, они возвращаются в исходное положение, кусок 20 опускается вниз в направлении выходной щели, если он останавливается (зависает) в зоне действия ударных элементов 12, срабатывает гидропривод и бойки 12 выдвигаются в направлении подвижной щеки 3, измельчая ударно-импульсным воздействием кусок 21.

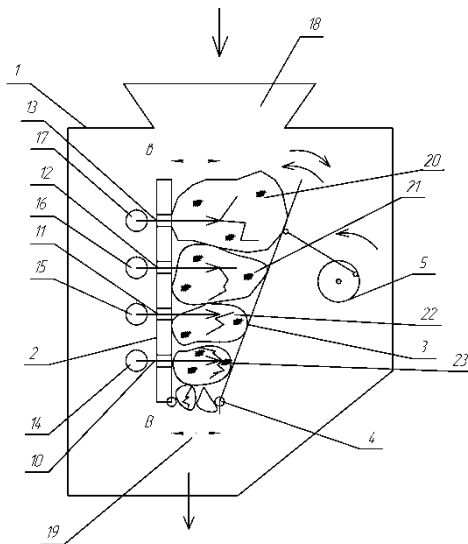


Рисунок 1. Схема щековой дробилки:

- 1 – корпус; 2 – неподвижная щека; 3 – подвижная щека; 4 – нижняя ось;
 5 – привод качаний; 6, 7, 8, 9 – сквозные отверстия; 10, 11, 12, 13 – бойки;
 14, 15, 16, 17 – гидропривод; 18 – загрузочное отверстие;
 19 – разгрузочное отверстие; 20, 21, 22, 23 – куски породы.

Если кусок разрушен, нагрузка на ударные элементы 12 уменьшается до минимальной, под воздействием гидропривода 16, бойки 12 возвращаются в исходное положение, измельченные куски направляются в сторону разгрузочной щели. Если кусок измельчаемого материала 22 зависает в зоне действия бойков 11, срабатывает гидропривод 15, бойки выдвигаются в направлении подвижной щеки 3, измельчая кусок ударно-импульсным воздействием. После его

раскалывания нагрузка на бойки 11 снижается до минимума, и они возвращаются в исходное положение.

Измельченные куски перемещаются в сторону разгрузочной щели. И наконец, если куски 23 измельчаемого материала застревают в зоне расположения бойков 10 так же срабатывает гидропривод 14 бойки 10 выдвигаются, измельчая кусок ударно-импульсным воздействием разрушают его и он перемещается в сторону разгрузочной щели [1].

Если бойки 10, 11, 12, 13 будут выходить из отверстий 6, 7, 8, 9 в неподвижной щеке 2 на существенное большее расстояние чем a , они будут препятствовать перемещению дробимого материала сверху в низ в рабочей камере щековой дробилки тем самым существенно снижая производительность дробилки.

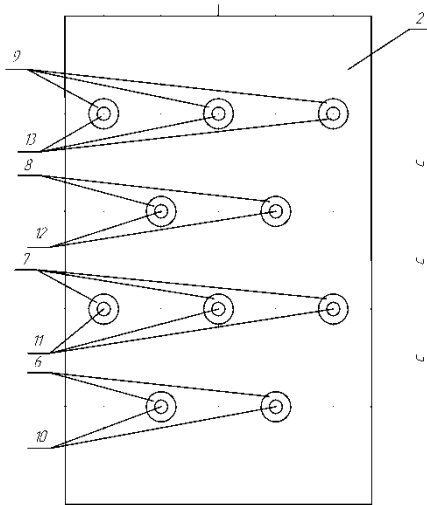


Рисунок 2. Неподвижная щека с бойками:

2 – неподвижная щека; 6, 7, 8, 9 – сквозные отверстия; 10, 11, 12, 13 – бойки

Максимальное расстояние выдвигения бойков из отверстия должно быть равным $v = B$ ширине выходной щели, этим самым обеспечивается получение кусков измельчаемого материала уже в верхней части размер которых будет равен ширине выходной щели, что не потребует дополнительных затрат работы и энергии на дробление вышерасположенных кусков и увеличит производительность дробилки. Если выдвигение бойков будет меньше чем B , то куски 20, 21, 22, 23 могут раскалываться на большие части размер которых будет больше

чем размер выходной щели, что существенно снизит производительность дробилки. Следовательно бойки 10, 11, 12, 13 целесообразно выдвигать из неподвижной щеки на расстояние B , в направлении подвижной щеки 3.

В предлагаемой конструкции щековой дробилки ударно-импульсное воздействие со стороны бойков 11, 12, 13, будет осуществляться только теми бойками напротив которых зависают куски 20, 21, 22, 23 измельчаемого материала, это происходит, таким образом, когда подвижная щека 3 совершает качательное движение и при этом большие куски материала зависают, при этом подвижная щека не обеспечивает разрушения кусков материала, вследствие чего на выступающие концы бойков 10, 11, 12, 13 действует максимальное усилие дробления, под воздействием которого срабатывает гидропривод 14, 15, 16, 17, и данный боек начинает выдвигаться, совершая ударно-импульсное воздействие на зависший кусок материала, если кусок разрушен нагрузка на соответствующий боек уменьшается и возвращается в исходное положение [2].

Таким образом, бойки выдвигаются только в исключительных случаях, когда куски 20, 21, 22, 23 не разрушаются, а, когда они в обычном режиме разрушаются, то бойки находятся в исходном положении, не препятствуют вертикальному перемещению измельчаемого материала от загрузки к разгрузке.

Предлагаемая конструкция позволяет оказывать в дополнение к сжимающему усилию еще и импульсно-ударное воздействие бойками 12, что будет способствовать интенсификации процесса дробления кусков дробимой горной породы 20, 21, 22, 23. При этом предлагаемая конструкция обеспечивает работу привода 17 бойков 12 в кратковременном режиме в те промежутки времени, когда это требуется для разрушения куса дробимой горной породы 23, что позволяет исключить работу привода 17 в холостом режиме.

Библиографический список:

1. Васильев А.С. Анализ объектов интеллектуальной собственности, направленных на повышение качества при дезинтеграции горных пород // Наука и бизнес. – 2015. – №3. – С. 42–44
2. Богданов В.С., Богданов Д.В., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов и изделий. – Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2018. – 170 с.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И РЫНКА ВИБРОПЛОЩАДОК

**Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, доц.,
Анциферов С.И., канд. техн. наук, доц.,
Калашников И.А., аспирант,**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Виброплощадки это специальные строительные машины, использующиеся для уплотнения бетонных смесей при производстве бетонных и железобетонных плит, панелей, блоков. Для изготовления одного или небольшого числа типов железобетонных изделий применяют виброштампы, виброформы и вибровкладыши. Бетонную смесь при изготовлении труб, цилиндрических опор линий электропередач уплотняют главным образом центрифугированием. Использование вибрационной площадки продлевает срок эксплуатации изделий из бетона, обеспечивает их надежность и безопасность. Это наиболее распространенный вид оборудования, который применяется с целью уплотнения бетона. [1]

Различают несколько разновидностей площадок по характеру колебаний, типу вибраторов, грузоподъемности, конструкции и т. д. Виброплощадки, выпускаемые серийно, состоят из одного или нескольких вибростолов с подвижной рамой или без нее. На рисунке 1 приведена классификация по всем различимым характеристикам.

Характер колебаний виброплощадки может быть круговым гармоническим, вертикально или горизонтально направленным, или ударно-вибрационным [2].

По типу вибраторов виброплощадки различаются наличием дебалансных бегунков, а также электромагнитным либо гидравлическим вибраторам. Конструкция вибрационных площадок бывает рамного и блочного типа. Главным параметром виброплощадок считают их грузоподъемность.

Круговые колебания сообщает виброплощадке, форме и бетонной смеси система одновальных вибраторов. Направленные колебания лучше уплотняют бетонную смесь, в частности, для изготовления изделий небольшой толщины предпочтительны вертикально направленные колебания.

Принцип действия площадки с направленными вертикальными гармоническими колебаниями: два вибратора установлены в одной

плоскости и вращаются в разных направлениях. Оба вибратора работают синхронно, создавая таким образом направленные вертикальные колебания. При малой грузоподъемности на виброплощадку устанавливаются дебалансные валы, которые должны находиться в одной горизонтальной плоскости и на небольшом расстоянии друг от друга.



Рисунок 1. Классификация виброплощадок.

Виброплощадки универсальны и на них можно формовать разные изделия, устанавливая на верхнюю раму различную опалубочную форму. В зависимости от длины на них крепятся от одного до нескольких дебалансных вибраторов, валы которых связаны гибкими соединениями (муфтовыми). Полученный таким образом общий вал приводится во вращение одним или несколькими электродвигателями.

Рама колеблющейся виброплощадки должна быть прочной и обладать достаточной для равномерной передачи амплитуды по всей длине жесткостью. При недостаточной жесткости в отдельных местах по длине виброплощадки и формы образуются точки с «нулевыми» амплитудами колебаний и смесь по длине изделия уплотнится неравномерно [3].

Так как с увеличением размеров формуемых изделий и длины виброплощадки непропорционально возрастают размеры сечений колеблющейся рамы и металлоемкость виброплощадки в целом, вместо одного общего вибростола применяют виброплощадки, которые состоят

из отдельных синхронно колеблющихся небольших вибростолов с дебалансными вибраторами, прикрепленными снизу. Каждый стол с вибратором образует отдельный виброблок.



Рисунок 2. Виброплощадка ВСМ-6000

На рисунке 2 представлена виброплощадка ВСМ-6000. Данная виброплощадка рамного типа, за счет сложной конструкции вибровозбудителя и суммарной вынуждающей силы в 176 кН обладает универсальностью и обеспечивает равномерное распределение амплитуды колебаний по всей рабочей площади. Обладает грузоподъемностью до 8 тонн.

На рисунке 3 показана виброплощадка ВПК-10 шириной 2300. В отличие от ВСМ-600 выполнена блочно и состоит из восьми вибротумб общей грузоподъемностью 10 тонн и вынуждающей силе 160 кН. У виброплощадок ВПК по сравнению со старыми типами площадок СМЖ (с использованием карданных валов) значительно снижено энергопотребление, а в следствии отсутствия быстро выходящих из строя карданных валов и муфт они обладают большей надежностью [1].



Рисунок 3. Виброплощадка ВПК-10.

С точки зрения обеспечения санитарно-гигиенических норм виброплощадки не удовлетворяют требованиям виброизоляции и превышают допустимый по нормам шум, что является существенным недостатком.

Виброплощадки являются неотъемлемой частью производства бетонных и железобетонных изделий. Широкая распространённость этой строительной машины обеспечивает актуальность научных исследований и изысканий.

Промышленность серийно выпускает виброплощадки, собираемые из стандартных элементов: виброблоков, карданных валов, шестереночных синхронизаторов и эластичных пружинных опор. Грузоподъемность выпускаемых виброплощадок колеблется от 2 до 25 тонн в зависимости от числа виброблоков, используемых в виброплощадке, от расчетной величины амплитуды колебаний и мощности электродвигателей.

Библиографический список:

1. Официальный сайт действующего завода изготовителя вибрационного оборудования <https://vibromash.com>;
2. Матмуродов Ф.М., Юлдашев Т., Уразалиев Б АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ РАЗНЫХ ВИБРОПЛОЩАДОК.; Ташкентский филиал Российского госуниверситета нефти и газа им. И.М. Губкина; статья в сборнике трудов конференции «Современные тенденции развития аграрного комплекса» 2016 - страницы: 1304-1308;
3. Кузьмичев В.А., Основы проектирования вибрационного оборудования. – Учебное пособие., 2014. - страницы 116-135;
4. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учеб. для строительных вузов и факультетов. М.: Высшая школа, 1971. 382 с.
5. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. Высшая школа, 1977. 354 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЯ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

**Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,
Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.,
Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.,
Кошелев М.А., магистрант,
Дейнеко С.Ю., магистрант**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Смесители непрерывного действия являются достаточно эффективным видом смесительного оборудования и на предприятиях, использующих непрерывную технологию производства, они являются единственно возможными для использования смесительными машинами [1].

На основе анализа результатов исследований процесса смешивания и методов расчета параметров смесителей непрерывного действия, предлагается методика определения их рациональных параметров. При разработке этой методики использовался метод, базирующийся на аналитических связях определяемых параметров машин с каким-либо основополагающим критерием рабочего процесса. Для оценки работы лопастного аппарата смесителя непрерывного действия принят "критерий эффективности" λ , подобный "критерию эффективности", предложенный К.М. Королевым [2]:

$$\lambda = \frac{\sum F_a \cdot V_{cp}}{V_c} \quad (1)$$

где $\sum F_a$ - суммарная активная площадь лопастей, м²; V_{cp} - окружная скорость лопастей на среднем радиусе, м/с; V_c - объем смеси в смесителе, м³.

Произведение

$$\delta = \lambda \cdot t \quad (2)$$

определяет общее число "перелопачиваний", за которое готовится смесь требуемого качества. В этом выражении t есть продолжительность смешивания.

Суммарная активная площадь лопастей в двухвальных смесителях непрерывного действия, м²,

$$\sum F_a = b \cdot \cos a \cdot (R - r) \cdot Z \cdot K_3 \quad (3)$$

где b - ширина лопасти, м; a - угол между рабочей плоскостью лопасти и осьювала; R и r - соответственно, радиусы наружной и внутренней кромки лопасти, м; Z - общее число лопастей, K_3 - коэффициент заполнения смесителя.

$$e = a \cdot R \quad (4)$$

Так как расстояние между валами устанавливается минимально возможным, чтобы уменьшить «Мертвые зоны», его можно конструктивно принять где $a \approx 1.3$ коэффициента пропорциональности.

Тогда объем смеси при установившемся режиме работы смесителя рассчитывают по формуле, м³.

$$V_c = F_c \cdot L = (2 \cdot e \cdot R + \pi \cdot R^2) \cdot L \cdot K_3 = (2 \cdot a + \pi) \cdot R^2 \cdot L \cdot K_3 \quad (5)$$

где F_c - площадь сечения зоны смешивания, м²; L - длина зоны смешивания, м. Окружную скорость лопастей на их среднем радиусе, м/с

$$V_{cp} = \omega \cdot r_{cp} = \frac{\omega(R+r)}{2} \quad (6)$$

где ω - угловая скорость лопастных валов.

Подставив принятые значения для $\sum F_a$, V_{cp} , V_c в выражение (1), получают:

$$\lambda = \frac{(R-r) \cdot b \cdot \cos a \cdot \omega \cdot Z}{2 \cdot (2 \cdot a + \pi) \cdot R^2 \cdot L} \quad (7)$$

Так как $r \approx 0.3 \cdot R$, то

$$\lambda = \frac{Z \cdot \omega \cdot b \cdot \cos a}{2 \cdot (2 \cdot a + \pi) \cdot L} \quad (8)$$

Время, необходимое для получения качественной смеси, определяют из выражения (2) и (8)

$$t = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot \delta \cdot (2 \cdot a + \pi) \cdot L}{Z \cdot \omega \cdot b \cdot \cos a} \quad (9)$$

Число "перелопачиваний" - устанавливается опытным путем и может быть рекомендовано для разных смесей $\delta = 25 \dots 35$.

Для расчета производительности смесителей непрерывного действия следует учесть, что в них помимо перемещений участков смеси в окружном направлении, необходимо обеспечить общее ее движение вдоль корпуса смесителя, для чего лопасти устанавливаются под углом к оси вала, образуя прерывистый шнек перемешивающий смесь в заданном направлении.

Для интенсификации массообмена в зоне смешивания в осевом направлении предложенная нами смешанная схема [3] установки лопастей предусматривает наличие на одном из валов противоточных лопастей, создающих локальные встречные потоки массы смеси, где и происходит интенсивный массообмен смешиваемых компонентов. Концевые противоточные лопасти на разгрузочных концах обоих валов создают общий подпор массы, обеспечивая тем самым равномерное заполнение ею всей зоны смешивания и равномерную загрузку и работу всех лопастей по длине смесителя.

Влияние противоточных лопастей на осредненную скорость осевого движения смеси практически не отражается, так как их число невелико. Следовательно техническая производительность смесителя непрерывного действия с двумя горизонтальными валами определяется объемом смеси, перемещаемым в единицу времени в осевом направлении только двумя концевыми лопастями ($W=2$) при однозаходном шнеке или четырьмя ($W=4$) при двухзаходном шнеке, образуемом рабочими поверхностями лопастей, установленных под углом к оси вала.

Картина движения макроучастков смеси в таких смесителях весьма сложная. При вращательном движении лопасть, установленная под углом к оси вала, перемешивает некоторый объем в окружном и одновременно в осевом направлениях. В открываемый лопастью дугообразный канал под действием сил тяжести и влияния соседних лопастей осыпается в первую очередь борт, образуемый впереди кромкой лопасти. За счет этого некоторая часть смеси также перемещается вдоль оси к разгрузочному концу корпуса смесителя. За задней кромкой лопасти в канал также осыпается борт и часть смеси, стекающая с плоскости лопасти. Таким образом, часть смеси, перемещается в осевом направлении, возвращается снова в зону действия рассматриваемой лопасти.

Наблюдения за характером движения смеси в зависимости от угла установки лопасти, а также замеры профиля сечения канала, открываемого единичной лопастью, показали, что коэффициент, характеризующий отношения производительности лопасти в осевом направлении $\Pi_{\text{л. ос}}$, к ее производительности в окружном направлении $\Pi_{\text{л. окр}}$, изменяется пропорционально $\sin \alpha$, то есть:

$$\beta = \frac{\Pi_{\text{л.ос.}}}{\Pi_{\text{л.ок}}} = \Theta \cdot \sin \alpha \quad (10)$$

где Θ - коэффициент пропорциональности.

Абсолютный же объем смеси, перемещаемый в осевом направлении, с увеличением угла α сначала увеличивается, а затем по достижении $\alpha = 45^\circ$ – уменьшается, поскольку ширина захвата лопасти изменяется по зависимости $b \cdot \cos \alpha$.

Таким образом, техническая производительность смесителя может быть представлена зависимостью:

$$\Pi_{\tau} = \beta \cdot \Pi_{\text{д.окр}} \cdot W = \Theta \cdot \sin \alpha \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot \omega \cdot (R - r) \cdot \frac{(R+r)}{2} \cdot W \cdot K,$$

или

$$\Pi_{\tau} = 0.5 \cdot \Theta \cdot \omega \cdot b \cdot W \cdot K_3 \cdot R^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha, \quad (11)$$

где W - количество разгрузочных лопастей

При $\alpha \rightarrow 45^\circ$ произведение $\cos \alpha \cdot \sin \alpha \rightarrow \max$, что подтверждается практикой, так как все смесители данного класса выпускаются с лопастями, установленными под углом $\alpha=45^\circ$. Величина коэффициента Θ по данным измерений и результатам регрессионного анализа параметров серийных смесителей может быть принята $\Theta=0.5$.

С позиции увеличения интенсивности смешивания более узкие лопасти выгоднее, так как относительная доля смеси, осыпающаяся с бортов будет больше, чем при широких лопастях. Однако здесь вступают в действие ограничения конструктивного порядка, так как при меньших значениях "b" необходимо увеличивать число лопастей и полученные выгоды будут скомпенсированы усложнением и утяжелением лопастного аппарата. Многолетней практикой это соотношение отработано и можно рекомендовать принимать $b \approx 0.4 \cdot R$

Тогда

$$\Pi_r = 0.5 \cdot \Theta \cdot b \cdot \omega \cdot K_3 \cdot W \cdot R^3 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad (12)$$

Эта зависимость позволяет определить один из главных параметров смесителя непрерывного действия наружный радиус лопастей при заданной производительности. Приняв $\Theta = 0.5$; $c=0.4\%$; $W=4\%$; $K_3 = 0.5$; $\alpha = 45\%$;

$$R = 2.16 \cdot \sqrt[3]{\frac{\Pi_r}{\omega}} \quad (13)$$

Средняя скорость перемещения вдоль корпуса смесителя V_{oc} при заданной технической производительности может быть определена по формулам

$$V_{oc} = \frac{\Pi_r}{F_c} \quad \text{и} \quad V_{oc} = \frac{L}{t} \quad (14)$$

Приравняв оба значения, мы получим зависимость для определения общего количества лопастей:

$$Z = \delta \cdot \Theta \cdot W \cdot \sin \alpha \cdot K_3 \quad (15)$$

Величина шага установки лопастей, во избежание застойных участков, должна быть примерно равна ширине "зоны возбуждения" создаваемой лопастью и может быть определена как

$$S = (1.2 \div 1.4) \cdot b \approx (0.48 \div 0.57) \cdot R \quad (16)$$

Предлагаемая методика определения рациональных параметров смесителей Непрерывного действия может быть использована при разработке математической модели процесса смешивания и смесителя, которые позволят унифицировать конструкцию и создать унифицированный типоразмерный ряд смесителей непрерывного действия заданной производительности и предназначенных для приготовления смесей с различными реологическими свойствами.

Библиографический список:

1. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Уч. Для строительных ВУЗов и факультетов. М., «Высш. Школа». 1971.
2. Королев К.М. Методика определения параметров бетоносмесителей роторного типа. // Строительные и дорожные машины- 1977.-N2,-с. 24 -25.
3. Богомолов А.А., Чемеричко Г.И., Португальский Л.М. Модернизированный двухвальный смеситель непрерывного действия. // Строительные и дорожные машины- 1984. №6.-с. 19-20.

ОБЗОР СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ПОРОДЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЩЕБНЯ

Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,

Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.,

Ченцов А.Е., аспирант,

Ченцов Д.Е., студент

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

Фундаментные работы и производство ЖБИ не обходится без применения универсальных сыпучих материалов [1]. Для того, чтобы снизить содержание строительного раствора в бетонных смесях, нужно засыпать формы щебнем. Его шероховатая поверхность гарантирует прекрасное сцепление и обеспечивает готовому материалу отличное качество. В строительстве наиболее распространен щебень гранитный щебень фракции 5-20 мм. Особенно это касается сооружений, которые должны испытывать повышенные нагрузки.

Щебень производится в результате обработки породы на дробильно-сортировочном предприятии. Процесс производства щебня состоит из следующих этапов: добыча породы, дробление, сортировка, постобработка. В качестве сырья для изготовления щебня используются разные по свойствам породы (гранит, мрамор, амфиболит, известняк и т.д.), но все они добываются на карьерах открытым способом.

Щебень может производиться как целенаправленно, так и быть побочным продуктом добычи полезных ископаемых или изготовления различных изделий. В первом случае материал получается более качественный при этом стоимость его увеличивается.

Существует четыре основных способа добычи породы [2].

Камнерезный способ (рис. 1) самый продуктивный и вместе с тем самый дорогостоящий способ добычи породы. Суть его состоит в том, что крупные блоки породы отпиливаются при помощи специальных камнерезных машин прямо в карьере. Применяются машины с дисковыми и канатными пилами, которые оборудованы алмазными насадками. Добываются преимущественно мягкие и средние породы – например, известняк, ракушечник, мрамор, доломит.

Такой способ добычи породы позволяет получать блоки правильной формы и определенного размера. Кроме того, он идеально сохраняет свойства материала, позволяет избежать появления микротрещин.



Рисунок 1. Добыча породы камнерезным способом

Камнерезный способ незаменим там, где важно сохранить целостность породы – например, при производстве декоративных облицовочных плит.

Буроклиновой способ один из древнейших, который сегодня уже практически не используется (рис. 2). Добыча породы осуществляется следующим образом: сначала намечается контур отделяемого блока. Затем по линии планируемого скола пробуривают отверстия – шпуры.



Рисунок 2. Добыча породы буроклиновым способом

В шпury закладывают клинья, которые при ударе отделяют блок породы по намеченной линии скола. Такой способ позволяет добывать даже твердые породы, которые не поддаются распиливанию – такие как гранит и габбро.

Данная технология хороша тем, что позволяет максимально сохранить целостность плиты для последующего применения в облицовке, мозаике и декоративной отделке. Этим она схожа с камнерезным способом. В качестве недостатка можно отметить, что такой способ подходит для откалывания небольших кусков породы. Для массивных блоков обычных клиньев будет недостаточно. Также сам процесс занимает очень много времени.

Бурогидроклиновой способ более современный и технологичный аналог приведенного выше способа. Суть метода остается неизменной, только стальные клинья заменяются гидроклиньями. Они заполняются водой под давлением и постепенно расширяются, откалывая куски породы.

Данный способ позволяет откалывать очень крупные фрагменты породы и разрушать монолит в труднодоступных местах. А постепенное нарастание давления и отсутствие шума и вибраций максимально сохраняют структуру камня. Однако гидромеханическое оборудование стоит достаточно дорого, а таких клиньев нужно иметь несколько. Да и разрушение породы при таком способе занимает продолжительное время. Все это делает применение бурогидроклиновой добычи невыгодной при производстве щебня.

Взрывной способ (рис. 3) активно используется для добычи как камня, так и руды еще со времен изобретения пороха. В породе бурятся глубокие отверстия, в которые закладываются заряды взрывчатых веществ.

При срабатывании взрывчатки откалывается огромное количество кусков породы. После взрыва наибольшие по размеру фрагменты собирают и перевозят к месту дальнейшей переработки.

Данный способ требует большой точности на этапе подготовки, ведь ошибка в расчетах местоположения и количества зарядов может привести к увеличению затрат. Если использовать слишком много взрывчатки, материал будет испорчен и непригоден к использованию. В противном же случае можно получить настолько крупные куски породы, что их придется взрывать еще раз.

Применение взрывного способа также сопряжено с большой опасностью для рабочих [3]. Во время проведения взрыва весь карьер должен быть эвакуирован.



Рисунок 3. Добыча породы взрывным способом

Этот способ самый дешевый, но вместе с тем и самый разрушительный. Из-за взрыва порода крошится, всего 70% полученного материала остается пригодным для последующего дробления – остальное идет в отсеб. Также в структуре материала появляются микротрещины. Плохо сказывается он и на экологии, ведь в процессе в воздух поднимаются клубы пыли и дыма. Дешевизна взрывного способа привела к тому, что в настоящее время он наиболее часто используется при производстве щебня.

Проведенный обзор позволяет сделать вывод, что щебень, применяемый при производстве строительных материалов, является побочным продуктом добычи полезных ископаемых с использованием взрывного способа добычи, так как он является наиболее дешевым и самым распространенным, учитывая рост жилищного и дорожного строительства в Российской Федерации.

Библиографический список:

1. Богданов В.С. Процессы в производстве строительных материалов / В. С. Богданов, Д. В. Богданов, И. А. Семикопенко – Старый Оскол: ТНТ, 2018.

2. Богатов, Б.А. Добыча и переработка горных пород. Осадочные горные породы / Б.А. Богатов, Н.И. Березовский. – БНТУ, 2005. – с
3. Грабчак Л.Г. Проведение горно-разведочных выработок и основы разработки месторождений полезных ископаемых / Л.Г. Грабчак, Ю.Н. Малышев, В.И. Комащенко – М.: Академия горных наук, 1997.

АНАЛИЗ РЫНКА СТРУЙНЫХ МЕЛЬНИЦ

**Булгаков С.Б., канд. техн. наук, доц.,
Анциферов С.И., канд. техн. наук, доц.,**

Попович А.В., аспирант,

Сергеев Д.О., студент

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

Для тонкого и сверхтонкого измельчения зернистых материалов применяют следующие машины: шаровые, шаро-кольцевые, вибрационные бисерные, коллоидные, струйные и мельницы ударно-отражательного действия. Область применения струйных мельниц довольно обширна (табл. 1).

Таблица 1

Области применения струйных мельниц

Отрасль промышленности	Измельчаемый материал
Горно-рудная, строительная, текстильная, бумажная, керамика и огнеупоры	Графит, известняк, мел, бетонит, торф, полевой шпат, магнезит, кизельгур, фосфаты, глина, барит, диатомит, цирконий, целлюлоза, древесина, отбеливатели
Пищевая	Злаки, крупы, сушеные овощи, орехи, какао-бобы, горох, бобовые, кормовые добавки, кислоты жирного ряда
Фармацевтическая	Лекарственные растения, пенициллин, стрептомицин, сульфодиазин и др.
Сельское хозяйство	Оксихлорид меди, линдан, тиокарбонат – ядохимикаты; кормовое зерно, кормовые добавки
Лакокрасочная	Пигменты, красители

Струйные мельницы характеризуются высоким качеством продуктов, большой степенью сухого измельчения, малой металлоемкостью, большой удельной производительностью и сравнительно низкими удельными затратами.

Можно разделить мельницы на несколько групп, используя различные классификации. Согласно одной из них [2], мельницы делятся на:

- мельницы ударного действия (с неподвижным отбойником-отражателем);
- мельницы с тангенциальным вводом энергоносителя (с вертикальной помольной камерой, с плоской помольной камерой);
- противоточные струйные мельницы.

Согласно другой классификации [1], струйные мельницы делятся на две группы:

- с последовательным измельчением и разделением;
- с совмещенным измельчением и разделением.

Существуют также конструкции мельниц, сочетающих признаки обеих групп.

Не так давно появилась на рынке конструкция струйной мельницы (рис. 1), которую можно отнести в отдельную группу - струйные мельницы с псевдоожиженным слоем зернистого материала.



Рис. 1 Струйная мельница с псевдоожиженным слоем CGS-71

Измельчаемый продукт подается через шлюзовый питатель в патрубок 1 (рис. 2), расположенный выше уровня сопел. Псевдооживленный слой материала формируется в основании камеры измельчения 2 под действием газовых потоков, поступающих из измельчающих сопел 3. Частицы из слоя вовлекаются в поток, ускоряясь им в направлении центра камеры. Измельчение происходит за счет соударения частиц в газовом потоке, а также в центре камеры. Разряженный измельчающий газ вместе с частицами поднимается к классификатору 4, который приводится в движение клиноременной передачей и электродвигателем 5, управляемым частотным преобразователем. Крупные частицы отлетают от классифицирующего ротора и возвращаются в псевдооживленный слой. Тонкие частицы вместе с потоком измельчающего газа покидают мельницу через выход тонкого продукта 6, далее продукт отделяют от газа в циклоне и фильтре [3].

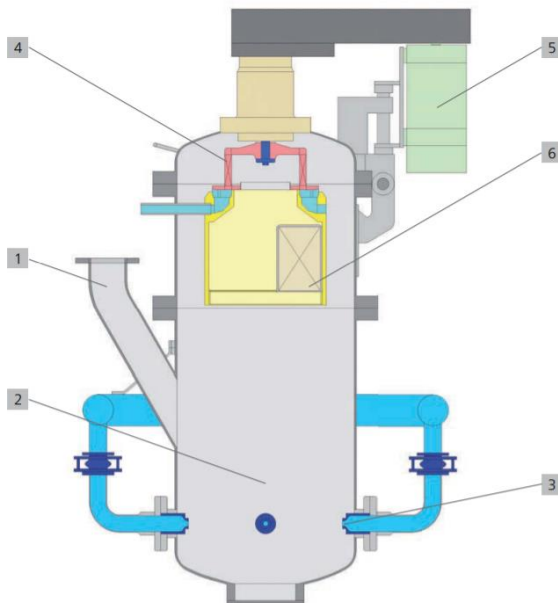


Рис. 2 Конструктивная схема струйной мельницы с псевдооживленным слоем

В настоящее время продолжают исследования в области струйных мельниц. Ученые разрабатывают различные конструкции струйных мельниц для повышения эффективности тонкого измельчения, уменьшения удельных энергозатрат, износа и металлоемкости мельниц, увеличения их долговечности и удобства эксплуатации.

Библиографический список:

1. Акунов В.И. Струйные мельницы. - М: Машиностроение, 1967. - 263 с.
2. Горобец В.И. Оптимизация параметров и разработка способов автоматического регулирования газоструйной мельницы. - М.: Машиностроение, 1965.
3. Струйная мельница CGS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.netzsch-grinding.com/ru/produkty-i-reshenija/sukhoe-izmelchenie/struinaja-melnica-cgs/>

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ВИБРАЦИОННЫХ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК

Герасимов М.Д., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с расширением возможности использования перспективного направления совершенствования вибрационных конусных дробилок среднего и мелкого дробления. В статье рассмотрены два важнейших вопроса требующие решения при проектировании и создании вибрационных конусных дробилок. Первый вопрос: величина соотношения усилия дробления в штатной конструкции конусной дробилке мелкого или среднего дробления. Второй вопрос: частота вынужденных колебаний дополнительного вибрационного устройства. Выбор соотношения усилия дробления и величины вынуждающей силы вибратора опирается на вывод рациональной частоты вынужденных колебаний дебалансного вибрационного устройства. В статье впервые для данного типа машин используется метод разделения круговой камеры дробления на отдельные участки. Каждый участок представляет собой зону волнового перемещения напряжения в материале на сжатие от действия усилия дробления. Длина участка рассматривается в диапазоне текущего действия усилия дробления, в котором напряжение в измельчаемом материале изменяется от нуля до максимума и вновь до нуля. Такой участок действия дробящего усилия представляет собой элементарный участок силового воздействия усилия дробления на материал. Статья содержит некоторые новые термины, которые вызваны необходимостью применения более точного описания кинетики процесса. Статья формирует новые подходы к процессу расчёта параметров вибрационных конусных дробилок, поэтому может рассматриваться в формате «в порядке обсуждения».

Вопросы состояния и развития конструктивных решений в области проектирования и расчёта вибрационных конусных дробилок достаточно полно освещён в работах [1–9]. В данных работах показан ряд технологических преимуществ использования вибрационных конусных дробилок мелкого и среднего дробления. Принципиально, можно выделить три вида вибрационных конусных дробилок. Конусные дробилки традиционной, классической схемы с дополнительной вибрацией внутреннего подвижного конуса. Конусные дробилки традиционной, классической схемы с дополнительной вибрацией

наружного неподвижного конуса. Конусные дробилки, в которых используют только вибрационные усилия. В данной работе рассматриваются теоретические и технические задачи, относящиеся к конусным дробилкам первого вида.

В работе [1] представлена информация о кинетике процесса в классических конструкциях конусных, вскрыты особенности их конструктивных решений. Классические конструктивные решения на протяжении многих лет успешно решали производственные задачи. Однако, в современных условиях появляется необходимость дальнейшего развития конструктивных решений. Издание содержит большой и полезный объём информации как для расширения научно-исследовательских работ в области совершенствования дробильного оборудования, так и для использования в практическом применении машин подобного типа. Данная статья является попыткой рассмотрения некоторых вопросов проблемы расчёта и проектирования вибрационных дробилок, сформулированных на основе материала, изложенного в работе [1].

Измельчение в конусных дробилках по своей природе «лежит» в пограничной области между непрерывным и циклическим процессом. Данный процесс может рассматриваться как непрерывный, так и циклический [10].

Чаще всего, начиная с классического учебника Сапожникова М.Я. [11] данный процесс рассматривается как непрерывный процесс выхода материала из выходного отверстия дробилки. В то же время, процесс рассматривается как выход материала за один оборот эксцентрикового вала, то есть за один цикл, с учётом количества циклов в единицу времени, например, за 1 час.

Исходя из такого подхода, представляется возможным в процессе измельчения материала в конусной дробилке мелкого или среднего дробления выделить элементарный цикл силового воздействия дробящих конусов, который по времени складывается из следующих составляющих:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 \quad (1)$$

где t_1 – время сближения поверхности дробящего конуса с зерном (зёрнами) материала; t_2 – время захвата материала дробящими поверхностями; t_3 – время, в течение которого происходит обломка и крошение слабых углов и участков кускового материала; t_4 – захват и нарастание напряжения сжатия в зёрнах (кусках) измельчаемого

материала; t_5 – достижение предела прочности, или временного сопротивления сжатию, зёрен (кусков) хрупкого измельчаемого материала; t_6 – образование трещин и обнажение дополнительной поверхности, разрушение зёрен (кусков) материала и сокращение размера кусков; t_7 – отход дробящего конуса от измельчённого материала.

Участок активного взаимодействия дробящего конуса и материала, в принципе может рассматриваться как элементарная камера дробления.

В свою очередь, составляющие $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$ в пределах цикла $T_{\text{ц}}$ представляют собой время подготовки условий дробления, $t_{\text{пудр}}$, и могут быть представлены выражением

$$t_{\text{пудр}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (2)$$

Составляющие процесса измельчения, происходящие в пределах времени $t_1 \dots t_5$ могут проходить как последовательно, так и параллельно друг другу. Однако, они отвечают все условию, когда в основном массиве материала ещё не достигнуто состояние предельного напряжения сжатия [11]:

$$p_{\text{уд}} = \sigma_{\text{сж}} = E_0 \cdot \varepsilon \leq [\sigma_{\text{сж}}] \quad (3)$$

где $p_{\text{уд}}$ – удельное давление дробящего конуса на материал. Н/м²; $\sigma_{\text{сж}}$ – текущее значение напряжения сжатия в материале, Н/м²; E_0 – модуль линейной деформации материала, Н/м², табличная величина [4]; ε – относительная линейная деформация на этапе уплотнения материала; $[\sigma_{\text{сж}}]$ – временное сопротивление сжатию исходного материала, Н/м².

На этапе времени разрушения, измельчения и дробления кусков (зёрен) материала, т.е. $t_{\text{и}} = t_6$, выражение (3) принимает вид:

$$\sigma_{\text{сж}} = E_0 \cdot \varepsilon \geq [\sigma_{\text{сж}}] \quad (4)$$

Наконец, на этапе, когда подвижный конус удаляется от элементарного объёма измельчения, происходит снижение напряжение в материале от $\sigma_{\text{сж max}}$ до 0. Обозначив время этапа *разгрузки* материала $t_{\text{р}} = t_7$, получим время элементарного цикла измельчения в камере дробления конусной дробилки КСД или КМД:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{пудр}} + t_{\text{и}} + t_{\text{р}} \quad (5)$$

В работе [1, стр. 75] даны рекомендации для «определения дробящей силы в режиме регулярной обкатки подвижного конуса по неподвижному» и показано, что «соотношение между силами, развиваемыми конусом и дебалансом, определяют характер работы дробилки:

$$N = v_b \cdot F_b + v_c \cdot F_c, \quad (6)$$

где F_b и F_c – силы, развиваемые соответственно конусом и дебалансом; v_b и v_c – коэффициенты[1]».

Следует заметить, что данное выражение позволяет создать условие, близкое к резонансу. Резонансу, не столько механическому, сколько к резонансу протекания процесса.

Не последнюю роль в достижении условия, близкого к резонансу процесса измельчения в конусной дробилке мелкого или среднего дробления, играет и частота вынужденных колебаний, генерируемых дебалансом.

Если частота вращения дробящего конуса составляет 246 об/мин (КМД-1750), или 4.1 качания/с, то время одного оборота дробящего конуса составляет $T_{ц1 \text{ оборота}} = 0.244$ с.

Однако, в пределах времени одного оборота может быть несколько полных циклов, описанных выражением (1) или (5). Таким образом, если знать время одного элементарного цикла, $T_{ц}$, в пределах которого происходит нарастание напряжения в материале от 0 до максимального, измельчение и снижение напряжения снова до 0, то можно определить, сколько элементарных циклов силового воздействия может содержаться в одном обороте подвижного конуса, т.е., в пределах времени $T_{ц1 \text{ оборота}} = 0.244$ с.

Важным для процесса является вопрос: «Какова частота и период, $T_{ц}$, одного элементарного нагружения в пределах одного периода, $T_{ц1 \text{ оборота}} = 0.244$ с?».

Условно зададимся числом таких силовых воздействий, n , равным четырём, а именно:

$$n = \frac{T_{ц1 \text{ оборота}}}{T_{ц}} = 4.0 \quad (7)$$

Тогда, время одного элементарного цикла нагружения составит: $T_{ц} = \frac{0.244}{4} = 0.061$ с. При этом, начало каждого элементарного цикла смещено относительно другого на 90^0 . Причём, точка отсчёта периода $T_{ц1 \text{ оборота}}$ может быть принята в любом месте окружности из 360^0 . Основным условием остаётся то, что период $T_{ц1 \text{ оборота}}$ и первый элементарный период $T_{ц}$ начинались одновременно из одной общей точки, например, т. b .

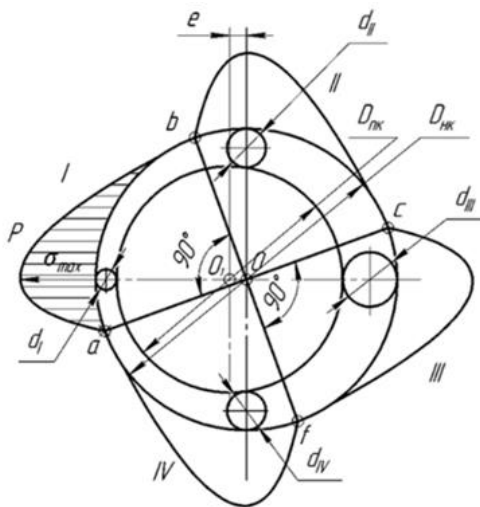


Рис. 1. Схема элементарных силовых воздействий подвижного конуса на материал:

I, II, III, IV – последовательность участков элементарного силового воздействия в пределах периода, цикла, одного обкатывания подвижного конуса;
 d_I – минимальный размер куска материала; d_{II} и d_{IV} – промежуточный размер куска материала; d_{III} – размер куска, поступающий в зону измельчения;
 $D_{пк}$ – диаметр подвижного конуса; $D_{нк}$ – диаметр неподвижного конуса;
 e – эксцентриситет; $\sigma_{\max}$ – амплитуда максимального напряжения от усилия дробления подвижным конусом; $\sigma_0 = 0$ – амплитуда минимального напряжения в материале; O и O_1 – центр неподвижного и подвижного конуса, соответственно;
 $b-a$, $c-b$, $f-c$, $a-f$ – участки элементарного силового воздействия дробящего конуса на материал; $\alpha=90^\circ$ – центральный угол участка элементарного силового воздействия, ω_k – угловая скорость обкатки подвижного конуса.

Период обкатывания подвижного конуса составляет $T_{ц1 \text{ оборота}} = 0.244$ с. Величина дробящего усилия графически может быть изображена как бегущая волна с некоторой асимметрией по частоте [12, 13], вызванной разностью времени протекания процесса, состоящего из трёх этапов: рост напряжения ($t_{р.напр}$), измельчение ($t_{и}$) и снятие напряжения материала ($t_{с.напр}$): $t_{р.напр} > t_{и} \cong t_{с.напр}$.

Характер подобных колебаний, независимо от самой величины усилия дробления может быть представлен суммой двух колебательных процессов со смещением начальных фаз, табл.1.

Таблица 1

Исходные параметры для получения величины дробящего усилия в пределах одного элементарного цикла нагружения

Parameter	№ колебательного процесса	
	1	2
Масса (kg)	1000	125
Радиус (cm)	1.5	1.5
Начальная фаза (град.)	180	270
Угловая скорость (рад/с)	246	492
Ri (m)	0.015	0.015
φ_i (rad)	3.14	4.71
ω_i (1/s)	25.76	51.52

Разбивая время элементарного воздействия на 20 интервалов по $dt = 0.012$ с. Получаем изменение величины вынуждающей силы первого (F1) и второго (F2) колебания. Суммарная расчётная величина вынуждающей силы (Sum) формирует изменение усилия дробления на участке элементарного воздействия, табл. 2.

Таблица 2

Расчётные значения суммарной вынуждающей силы из двух вибраторов, отображающей форму усилия дробления в пределах элементарного силового воздействия

№	t	F1	F2	Sum
0	0.000	-19.91	0.00	-19.91
1	0.012	-18.97	5.77	-13.20
2	0.024	-16.22	9.40	-6.82
3	0.036	-11.94	9.56	-2.39
4	0.048	-6.53	6.17	-0.36
5	0.060	-0.50	0.50	0.00
6	0.072	5.58	-5.36	0.22
7	0.084	11.13	-9.23	1.90
8	0.096	15.62	-9.68	5.94
9	0.108	18.64	-6.55	12.08
10	0.120	19.88	-1.00	18.89
11	0.132	19.25	4.93	24.17

12	0.144	16.78	9.03	25.81
13	0.156	12.73	9.79	22.52
14	0.168	7.47	6.92	14,39
15	0.180	1.50	1.50	2.99
16	0.192	-4.61	-4.49	-9.10
17	0.204	-10.29	-8.81	-19.09
18	0.216	-14.98	-9.87	-24.85
19	0.228	-18.26	-7.27	-25.54
20	0.240	-19.81	-1.99	-21.80
			<i>Max</i>	25.81
			<i>Min</i>	-25.81

График изменения величины усилия дробления строится относительно некоторой средней линии. Величина дробящего усилия составляет $|Max| + |Min| = 51.62$ кН.

Графическое отображение изменения усилия дробления в пределах элементарного силового воздействия представлено на рис. 2.

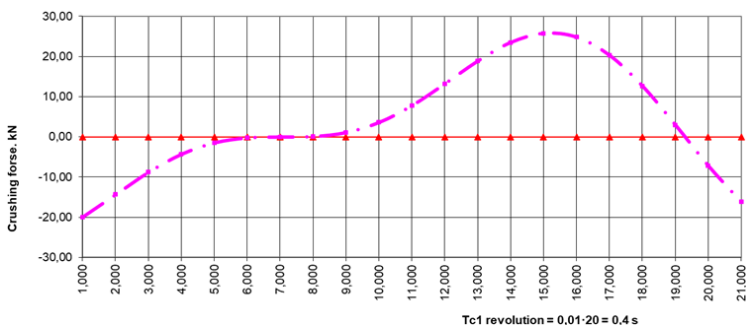


Рис. 2. График изменения усилия дробления в пределах времени элементарного цикла силового воздействия

Время элементарного цикла силового воздействия $T_{\text{ц}}$ состоит из двух составляющих участков. На первом участке: точки 20-21-1-13, происходит рост напряжения сжатия материала от 0 до максимального значения, $\sigma_{\text{сж}} \leq [\sigma_{\text{сж}}]$. Продолжительность времени данного участка составляет 70% времени $T_{\text{ц}}$,

На втором отрезке времени, 13-20, который составляет 30% от $T_{ц}$, происходит сброс напряжения сжатия в пределах от $\sigma_{сж} \geq [\sigma_{сж}]$ до нуля.

Данная модель и форма изменения усилия дробления характеризуют классическую конструкцию конусной дробилки без вибрации. В пределах угла 90^0 , поворота подвижного конуса имеем достаточно «большой участок» времени, который характеризуется «медленным» ростом напряжения.

Идеи, заложенные в работе [1] позволяют воспользоваться такой формой и характером изменения усилия дробления. На «растянутом» участке графика можно встроить дополнительное силовое воздействие от вибрационного механизма.

Такое силовое воздействие может быть создано вибрационным устройством с кратной частотой вращения дебалансного механизма по отношению в частоте вращения подвижного конуса, табл. 3.

Таблица 3

Исходные параметры для получения величины дробящего усилия в пределах одного элементарного цикла нагружения с вибрационным устройством

Параметры	№ вибратора		
	1	2	3
Масса (кг)	1000	125	50
радиус (см)	1.5	1.5	1.5
Начальная фаза (град.)	180	270	180
Угловая скорость (рад/с)	246	492	738
Ri (m)	0.015	0.015	0.015
ϕ_i (rad)	3.14	4.71	3.14
ω_i (1/s)	25.76	51.52	77.28

Расчёт усилия дробления с учётом вибратора приведен в табл. 4. Здесь F_1 и F_2 представляют собой усилие дробления конуса базовой конусной дробилки: $F_{др} = F_1 + F_2 = 51.62$ кН. Величина вынуждающей силы вибратора $F_{вибр}$ и $F_{др}$ образуют суммарную силу.

Таблица 4

Расчёт усилия дробления с учётом вибратора

№	t	F1	F2	F _{вибр}	Сумма
0	0.000	-19.91	0.00	-8.96	-28.87
1	0.012	-18.97	5.77	-5.37	-18.57
2	0.024	-16.22	9.40	2.51	-4.31
3	0.036	-11.94	9.56	8.39	6.00
4	0.048	-6.53	6.17	7.55	7.19
5	0.060	-0.50	0.50	0.67	0.67
6	0.072	5.58	-5.36	-6.74	-6.52
7	0.084	11.13	-9.23	-8.76	-6.86
8	0.096	15.62	-9.68	-3.77	2.17
9	0.108	18.64	-6.55	4.24	16.32
10	0.120	19.88	-1.00	8.86	27.74
11	0.132	19.25	4.93	6.39	30.56
12	0.144	16.78	9.03	-1.19	24.62
13	0.156	12.73	9.79	-7.82	14.70
14	0.168	7.47	6.92	-8.19	6.20
15	0.180	1.50	1.50	-2.01	0.99
16	0.192	-4.61	-4.49	5.78	-3.32
17	0.204	-10.29	-8.81	8.94	-10.15
18	0.216	-14.98	-9.87	4.95	-19.90
19	0.228	-18.26	-7.27	-3.00	-28.54
20	0.240	-19.81	-1.99	-8.55	-30.35
	Max				30.56
	Min				-30.56

В табл. 4 имеем помимо усилия дробления, $F_{др}$ вибрационную силу $F_{дроб.}$ Вместе они образуют аналог выражения (6):

$$N = F_{др} + F_{вибр} \quad (8)$$

где $F_{др}$ – усилие дробления, создаваемое подвижным конусом дробилки на материал, кН; $F_{вибр}$ – вынуждающая сила вибрационного устройства. В нашем случае,

$$N = |30.56| + |-30.56| = 61.12 \text{ кН.}$$

3. График изменения суммарной силы дробления представлен на рис.

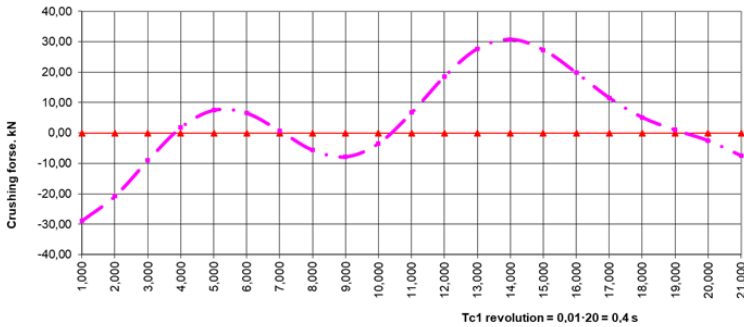


Рис. 3. График изменения усилия дробления в пределах времени элементарного цикла силового воздействия с использованием вибрационного механизма при $\omega_d = 3 \cdot \omega_k = 738$ об/мин.

Увеличение усилия дробления на величину вынуждающей силы вибратора может составлять $(0.4 \dots 0.5) \cdot F_{др}$ [1]. В данном случае получено приращение суммарной силы дробления на 18,4%.

Кроме этого, в процессе дробления в пределах каждого элементарного силового воздействия формируются дополнительные импульсы силы, которые могут благоприятно сказываться на эффективности измельчения.

Величина дополнительной вибрационной силы должна определяться расчётным путём. Так, при использовании соотношения частот: $\omega_d = 3 \cdot \omega_k = 738$ об/мин, где ω_d и ω_k – угловая скорость вращения дебаланса вибратора и подвижного конуса, соответственно, имеем два импульса в пределах каждого элементарного цикла силового воздействия. Дополнительные импульсы силы дробления наблюдаем в т. 4-5 и т. 12.

Если частота вращения дебалансного механизма буде увеличена, то картина силового воздействия примет иной вид. При $\omega_d = 4 \cdot \omega_k = 984$ об/мин суммарная сила дробления возрастает до 74,8 кН, что составляет 44,5% от первоначальной. График изменения суммарной вынуждающей силы, при этом, фиксирует увеличение числа дополнительных импульсов, рис. 4.

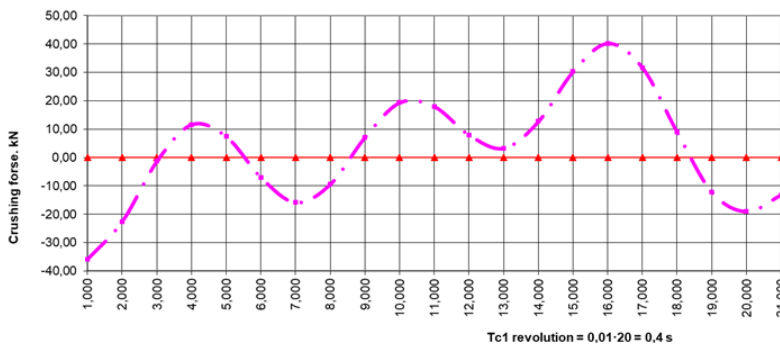


Рис. 4. График изменения усилия дробления в пределах времени элементарного цикла силового воздействия с использованием вибрационного механизма при $\omega_d = 4 \cdot \omega_k = 984$ об/мин

Использование дополнительного вибрационного воздействия на измельчаемый материал является обоснованным средством существенного повышения скорости реализации процесса измельчения в конусных дробилках среднего и мелкого дробления. Особенностью такого воздействия является попытка создания условий приближения процесса к резонансному эффекту [14,15,16,17,18]. При достижении эффекта близкого к резонансному, скорость протекания процесса может возрасти не только в разы, но и на порядки. Попытки решения подобных задач приведены в работе [19]. Однако, решение таких задач потребует не только дополнительных теоретических исследований и конструкторских разработок, но и финансовой поддержки.

Использование вибрационного механизма в конструкции конусных дробилок среднего и мелкого дробления может существенно увеличить скорость процесса измельчения материалов в них. Целью использования вибрационных механизмов в конструкции конусных дробилок является создание условий близких к резонансу выполнения процесса. Важным условием достижения требуемых условий является выбор рационального соотношения величины усилия дробления подвижным конусом и величины вынуждающей силы вибрационного устройства. В статье приведены результаты теоретических исследований в области разработки методики проектирования и расчёта рациональных параметров отдельных видов вибрационных конусных дробилок.

Статья подготовлена в соответствии с планом НИР Опорного университета.

Библиографический список

1. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P., Turkin V.Ya. 2004 Vibrating crushers. Basics of calculation, design and technological application *SPb.: VSEGEI* 306.
2. Zarogatskiy L.P., Pirogova O.A., Safronov A.N. Vibration Cone Crusher. Ptent RF, no. 87930, 2009
3. Zarogatskiy L.P., Pirogova O.A., Safronov A.N. Vibration Cone Crusher. Ptent RF, no. 2401700, 2010
4. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P., Safronov A.N., Cherkasskiy V.A., Shuloyakov A.D. Inertial cone crusher. Patent RF, no. 2212939, 2003
5. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P., Safronov A.N., Turkin V.Ya., Cherkasskiy V.A. Cone Vibratory Crusher. Patent RF, no. 2234981, 2004
6. Vaysberg L.A., Turkin V.Ya., Kazakov S.V., Nagayev R.F., Shishkin E.V. Vibrating crusher. Patent RF, no. 2254929, 2005
7. Zarogatskiy L.P., Vaysberg L.A., Kazakov S.V., Turkin V.Ya. Vibration Cone Crusher. Patent RF, no. 2257266, 2005
8. Vaysberg L.A., Turkin V.Ya., Kazakov S.V., Cone Vibratory Crusher with Cross Axes. Patent RF, no. 2292241, 2006
9. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P., Pirogova O.A. Inertial cone crusher. Patent RF, no. 2314158, 2008
10. Industrial vibrators and vibration equipment 2018 Product Catalog. Yaroslavl factory «KRASNYJ MAYAK» 41
11. Hanns W. Tappeiner, Roberta L. Klatzky, Bert Unger, Ralph Hollis 2009 Good Vibrations: Asymmetric Vibrations for Directional Haptic Cues. *World Haptics (Third Joint Euro Haptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems)*. SaltLakeCity 18-20
12. Rumyantsev S.A., Astankov K.Yu. 2012 Increasing the efficiency of overcoming the frontal resistance of cohesive soils during vibration driving of piles. *Bulletin of the Ural State Transport University* **4 (16)** 82-90
13. Gerasimov M.D. 2016 Addition of vibrations in vibration absorbers *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after. V G Shukhov* **3** 116-121
14. Gerasimov M.D., Mkrtychev Oleg V., Glagolev Sergey N., Gerasimov Dmitriy M., Latyishev Sergey S. Method of determination of vibrating screens oscillation's amplitude in a characteristic point for plane motion *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, **11(20)** 12295-12301

15. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D. M., Mkrtychev O. V. 2015 Determination of the driving force's asymmetry factor and the Vibrostands work's analysis *International Journal of Applied Engineering Research* **10(24)** 45392-45398
16. Gerasimov M.D., Romanovich A.A., Vorobiev N.D., Ebrahim Amini. 2018 Results of research to improve efficiency of vibrating machines. International Conference “Complex equipment of quality control laboratories” *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 12015-12019
17. Jiaguo Y, Ying P. 2018 Research on Design of Vibration Platform of Molded Case Circuit Breaker and Reliability of Platform Frame. *American Journal of Engineering and Technology Management* **3(2)** 35-41
18. Liu Ye. 2013 Analysis of Structural Design Method for Vibration System of Electrical Reliability Test Bench [J]. *Science and Technology Guide* **26** 205-207
19. Gerasimov M.D., Lubimyi N.S., Ryazantsev V.G. 2020. Methodology of vibro loader design with asymmetric oscillations. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov* 5 135–142.

ПОВЕДЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ

Герасимов М.Д., канд. техн. наук, доц.,
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

В ряде публикаций [1,2,3,4,5,6,7], относящихся к перспективным направлениям развития вибрационного строительного оборудования и дорожно-строительных машин, показано, что одним из таких направлений становится создание вибрационных устройств с асимметричными колебаниями суммарной вынуждающей силы. В вибрационных устройствах с асимметричной вынуждающей силой важным показателем, характеризующим их технические возможности является коэффициент асимметрии величины вынуждающей силы, или, что тоже самое, коэффициент динамичности - k_d . Численно коэффициент динамичности равен отношению модуля величины составляющей вынуждающей силы, $F_{п.р.}$, направленной в сторону выполнения полезной работы к величине составляющей вынуждающей силы, $F_{х.х.}$, направленной в сторону выполнения холостого хода, те есть, в противоположную сторону от $F_{п.р.}$.

Коэффициент динамичности, k_d , вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, в общем случае [8,9,10], связан с числом вибрационных ступеней вибраторов с направленными колебаниями. При увеличении числа вибраторов с направленными колебаниями в вибрационном устройстве от 2 до n ступеней, коэффициент динамичности может составлять по величине число, равное числу ступеней вибрационного устройства. Таким образом, при числе ступеней $n=2$, коэффициент динамичности составляет $k_d=2,0$. При $n=3$, коэффициент может составлять $k_d=3,0$. И так далее. Это происходит в том случае, если правильно подобраны массы дебалансов каждой ступени, эксцентриситеты дебалансов и частоты вращения дебалансных валов. В противном случае, коэффициент динамичности численно будет всегда меньше числа ступеней в вибрационном устройстве.

При проектировании вибрационных устройств с асимметричными колебаниями важно учитывать изменения некоторых параметров при увеличении величины коэффициента динамичности, т.е., при увеличении числа ступеней с направленными колебаниями, входящими в вибрационное устройство. К таким параметрам, прежде всего,

относится время, в пределах каждого периода суммарного колебания, которое приходится на выполнение полезной работы, $t_{п.р.}$, и время которое приходится на выполнение холостого хода, $t_{х.х.}$.

Для рассмотрения и изучения данного вопроса используем разработанную методику расчёта и проектирования вибрационных устройств с асимметричных колебаний, и представленную в ряде публикаций [8,10]. Рассмотрим некоторую абстрактную функцию колебательного процесса

$$F = A \cos(\omega \cdot t) \quad (1)$$

где $A = m \cdot r \cdot \omega^2$ – амплитудное значение величины вынуждающей силы гармонических колебаний первой ступени;

m – масса дебаланса, кг;

r – радиус смещения центра массы дебаланса, м;

ω – угловая скорость вращения дебалансного вала, рад/с.

Для наглядности примера, принимаем для всех последующих расчётов величину смещения центра массы дебаланса, равной единице, $r = 1,0$ см. Начальная величина частоты вращения дебалансного вала 500 об/мин, а угловой скорости 52,3 рад/с. Дальнейшие частоты вращения вибрационных ступеней, кратны: 1000; 1500; ...; 3500 об/мин. Время действия составляющих суммарную вынуждающую силу в направлении выполнения полезной работы и холостого хода определяем точкой перехода графика суммарной вынуждающей силы через ноль. Принимаем произвольно для первого вибратора массу дебаланса 1000 кг. Статический момент дебаланса первой ступени составляет $M_{ст1} = 1000 \cdot 0,01 = 10$ кг·м.

Составляем исходные параметры для построения графика изменения вынуждающей силы вибратора первой ступени

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3,1416	Масса (кг)	1000	0	0	0	0	0	0
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,006	φ_0 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ω (1/с)	52,36	52,36	104,72	104,72	157,08	157,08	366,52

Результаты расчёта вынуждающей силы первой ступени представлены в табл. 1. Амплитудное значение величины вынуждающей силы в направлении выполнения полезной работы (положительные

значения) составляет $F_{п.р.} = 54,83 \text{ кН}$. Амплитудное значение величины вынуждающей силы в направлении выполнения холостого хода (отрицательные значения) составляет $F_{х.х.} = -54,83 \text{ кН}$.

Таблица 2 – Расчёт величины вынуждающей силы первой ступени

№	t	F1	Сумма
0	0,000	54,83	54,83
1	0,006	52,15	52,15
2	0,012	44,36	44,36
3	0,018	32,23	32,23
4	0,024	16,94	16,94
5	0,030	0,00	0,00
6	0,036	-16,94	-16,94
7	0,042	-32,23	-32,23
8	0,048	-44,36	-44,36
9	0,054	-52,15	-52,15
10	0,060	-54,83	-54,83
11	0,066	-52,15	-52,15
12	0,072	-44,36	-44,36
13	0,078	-32,23	-32,23
14	0,084	-16,94	-16,94
15	0,090	0,00	0,00
16	0,096	16,94	16,94
17	0,102	32,23	32,23
18	0,108	44,36	44,36
19	0,114	52,15	52,15
20	0,120	54,83	54,83
	Max	54,83	54,83
	Min	-54,83	-54,83
	кд	1,0	1,0

где № (0,1,2, ..., 20) - порядковый номер интервала периода колебаний; t , (dt) – текущее время периода колебаний; $T = 0,12 \text{ с.}$ - период колебаний.

График изменения величины вынуждающей силы вибратора первой ступени представлен на рис. 1.

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет по 50%. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_1=0,06 \text{ с.}$

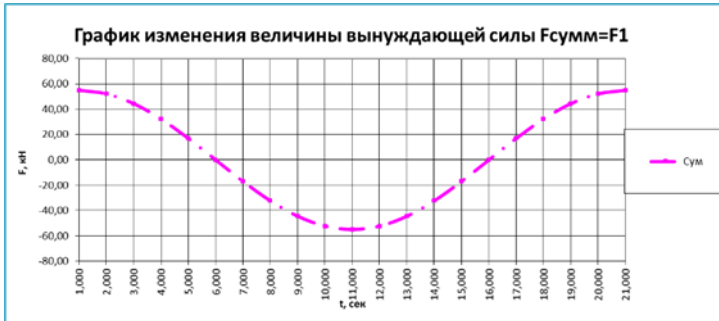


Рис. 1. График изменения величины вынуждающей силы вибратора первой ступени

Составляем исходные данные для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из двух ступеней, табл. 3. Исходные параметры формируются так, чтобы амплитудное значение суммарной величины вынуждающей силы было таким, как для одной первой ступени.

Таблица 3 - Исходные данные для расчёта двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3.1416	Масса (кг)	667	83,3	0	0	0	0	0
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.006	Fi0 (рад)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	w (1/с)	52.36	104.72	157.08	209.44	261.8	314.16	366.52

График изменения величины вынуждающей силы двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями приведен на рис. 2.

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет 38%/62%, соответственно. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_2=0,0456$ с.

Коэффициент асимметрии вынуждающей силы, или коэффициент динамичности двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями составляет $k_{d2}=2,02$



Рис. 2. График изменения величины вынуждающей силы, генерируемой первыми двумя ступенями

Составляем исходные данные для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из трёх ступеней, табл. 4.

Таблица 4 - Исходные данные для расчёта трёхступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3,1416	Масса (кг)	500	83,3	18,54	0	0	0	0
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,006	F ₀ (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16	366,52

График изменения величины вынуждающей силы трёхступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями приведен на рис. 3.

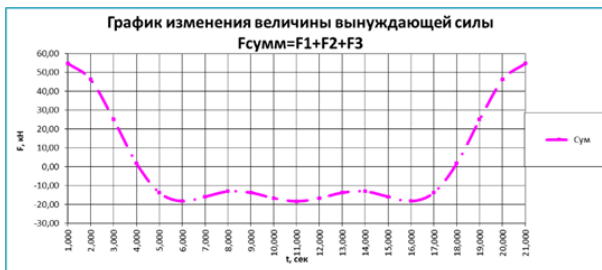


Рис. 3. График изменения величины вынуждающей силы, генерируемой тремя ступенями

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет 31%/69%, соответственно. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_3=0,0372$ с.

Коэффициент асимметрии вынуждающей силы, или коэффициент динамичности двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями составляет $k_{д3}=3,00$.

Составляем исходные данные для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из четырёх ступеней, табл. 5.

Таблица 5 - Исходные данные для расчёта четырёхступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3, 1416	Масса (кг)	401,5	75,2	21,9	6,28	0	0	0
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,006	F _{l0} (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/c)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16	366,52

График изменения величины вынуждающей силы четырёхступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями приведен на рис. 4.

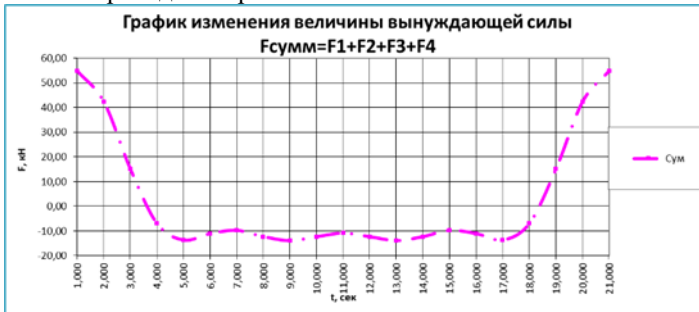


Рис. 4. График изменения величины вынуждающей силы, генерируемой четырьмя ступенями

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет 26%/74%, соответственно. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_4=0,0312$ с.

Коэффициент асимметрии вынуждающей силы, или коэффициент динамичности двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями составляет $k_{д4}=3,96$.

Составляем исходные данные для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из пяти ступеней, табл. 6.

Таблица 6 - Исходные данные для расчёта пятиступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3,1416	Масса (кг)	333	66,7	22,5	8,34	2,57	0	0
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,006	F ₁₀ (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16	366,52

График изменения величины вынуждающей силы пятиступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями приведен на рис. 5.

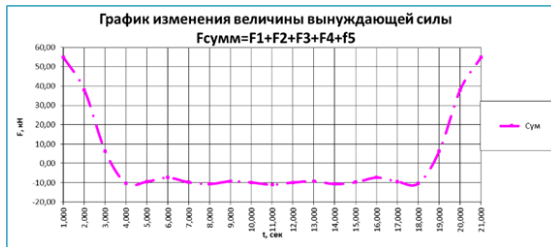


Рис. 5. График изменения величины вынуждающей силы, генерируемой пятью ступенями

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет 23%/77%, соответственно. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_5=0,0276$ с.

Коэффициент асимметрии вынуждающей силы, или коэффициент динамичности двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями составляет $k_{д5}=5,01$.

Составляем исходные данные для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из шести ступеней, табл. 7.

Таблица 7 - Исходные данные для расчёта шестиступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3,1416	Масса (кг)	286	59,6	21,2	8,9	3,8	1,32	0
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,006	F ₁₀ (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16	366,52

График изменения величины вынуждающей силы шести ступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями приведен на рис. 6.

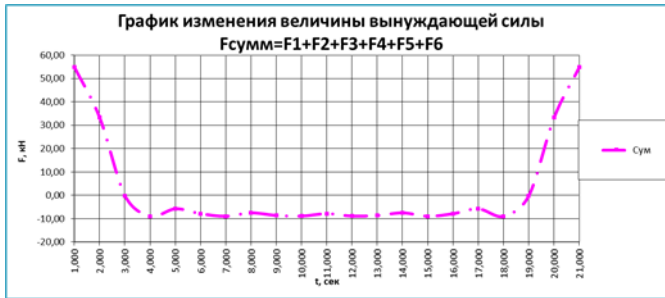


Рис. 6. График изменения величины вынуждающей силы, генерируемой шестью ступенями

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет 20%/80%, соответственно. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_6 = 0,024$ с.

Коэффициент асимметрии вынуждающей силы, или коэффициент динамичности двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями составляет $k_{д6} = 6,11$.

Составляем исходные данные для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из семи ступеней, табл. 8.

Таблица 8 - Исходные данные для расчёта семи ступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3,1416	Масса (кг)	268	57,5	21,3	9,6	4,6	2,13	0,75
	Радиус (см)	1	1	1	1	1	1	1
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,006	F10 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16	366,52

**Таблица 9 – Результаты расчёта суммарной вынуждающей силы
вибрационного устройства с семью ступенями**

№	t	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	Сумм
0	0,000	14,69	12,61	10,51	8,42	6,31	4,20	2,02	58,76
1	0,006	13,98	10,20	6,18	2,60	0,00	-1,30	-1,18	30,48
2	0,012	11,89	3,90	-3,25	-6,81	-6,31	-3,40	-0,62	-4,61
3	0,018	8,64	-3,90	-10,00	-6,81	0,00	3,40	1,92	-6,75
4	0,024	4,54	10,20	-8,50	2,60	6,31	1,30	-1,63	-5,59
5	0,030	0,00	12,61	0,00	8,42	0,00	-4,20	0,00	-8,39
6	0,036	-4,54	10,20	8,50	2,60	-6,31	1,30	1,63	-7,01
7	0,042	-8,64	-3,90	10,00	-6,81	0,00	3,40	-1,92	-7,87
8	0,048	11,89	3,90	3,25	-6,81	6,31	-3,40	0,62	-8,03
9	0,054	13,98	10,20	-6,18	2,60	0,00	-1,30	1,18	-7,46
10	0,060	14,69	12,61	-10,51	8,42	-6,31	4,20	-2,02	-8,29
11	0,066	13,98	10,20	-6,18	2,60	0,00	-1,30	1,18	-7,46
12	0,072	11,89	3,90	3,25	-6,81	6,31	-3,40	0,62	-8,03
13	0,078	-8,64	-3,90	10,00	-6,81	0,00	3,40	-1,92	-7,87
14	0,084	-4,54	10,20	8,50	2,60	-6,31	1,30	1,63	-7,01
15	0,090	0,00	12,61	0,00	8,42	0,00	-4,20	0,00	-8,39
16	0,096	4,54	10,20	-8,50	2,60	6,31	1,30	-1,63	-5,59
17	0,102	8,64	-3,90	-10,00	-6,81	0,00	3,40	1,92	-6,75
18	0,108	11,89	3,90	-3,25	-6,81	-6,31	-3,40	-0,62	-4,61
19	0,114	13,98	10,20	6,18	2,60	0,00	-1,30	-1,18	30,48
20	0,120	14,69	12,61	10,51	8,42	6,31	4,20	2,02	58,76
	Max	14,69	12,61	10,51	8,42	6,31	4,20	2,02	58,76
	Min	14,69	12,61	-10,51	-6,81	-6,31	-4,20	-2,02	-8,39
	кд								7,00

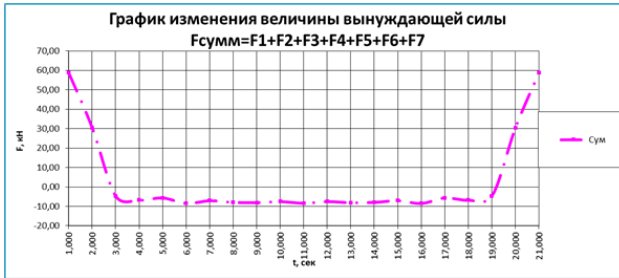


Рис. 7. График изменения величины вынуждающей силы, генерируемой семью ступенями

Из 20 интервалов времени периода колебаний соотношение времени действия составляющих в положительном и отрицательном направлении составляет 17%/83%, соответственно. Таким образом время действия составляющей в направлении выполнения полезной работы, для первой ступени, составляет $t_7 = 0,0204$ с.

Коэффициент асимметрии вынуждающей силы, или коэффициент динамичности двухступенчатого вибрационного устройства с асимметричными колебаниями составляет $k_{д7} = 7,00$.

Составляем таблицу полученных результатов:

Коэффициент динамичности вибрационной системы с асимметричными колебаниями, k_d	1,0	2,02	3,0	3,96	5,01	6,11	7,0
Время импульса силы в пределах одного периода колебаний, t , с	0,06	0,0456	0,0372	0,0312	0,0276	0,024	0,0204

По результатам аналитических исследований строим график зависимости времени импульса силы в пределах одного периода колебаний, t , с от коэффициента динамичности вибрационной системы с асимметричными колебаниями, k_d .

Полученный график зависимости описывается логарифмическим уравнением (2), которое может быть использовано на стадии

проектирования вибрационных устройств с асимметричными колебаниями, особенно, на стадии предпроектного формирования исходных параметров.

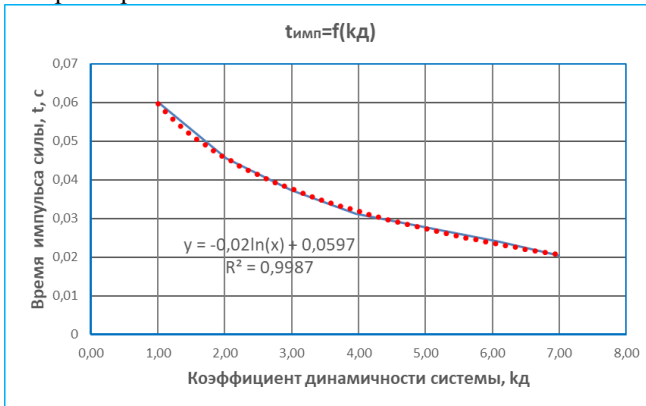


Рис. 8. Зависимость времени импульса t (с), силы в пределах одного периода колебаний от коэффициента динамичности вибрационной системы с асимметричными колебаниями, кд.

$$t_{\text{имп}} = -0,02 \cdot \ln(k_d) + 0,0597 \text{ с} \quad (2)$$

Здесь, R^2 — доверительность аппроксимации.

Вывод. Проведенные аналитические исследования поведения и изменения, в пределах одного периода колебаний, времени, затрачиваемого вибрационным устройством с асимметричными колебаниями на выполнение полезной работы, и полученные результаты, показывают, что в пределах изменения конструкции вибрационного устройства от одной до семи ступеней, время активного воздействия, импульса, сокращается в 49 раз. Это положение позволяет получать высокоэффективные вибрационные устройства, работающие, практически, в режиме резонанса и существенно повышать эффективность производственных процессов.

Работа выполнена в рамках выполнения плана реализации НИР опорного университета – БГТУ им. В.Г. Шухова.

Библиографический список:

1 Машины для земляных работ. В 2 кн. Кн. 1. Экскаваторы и землеройно-транспортные машины: Учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др., под общ. ред. В.И.

Баловнева. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова Изд-во БГТУ, 2012, – 400 с.

2 Патент RU № 2381078 от 10.02.2010. Способ получения направленных механических колебаний и устройство для его осуществления. Исаев И.К., Герасимов М.Д. Заявка 2007148177 от 24.12.2007

3 Герасимов М.Д., Герасимов Д.М. Определение закона движения, скорости и ускорения центра масс планетарного вибровозбудителя / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. РАЕ – 2013. №12. – С. 8 – 11.

4 Патент на ПМ № 145754. Зубчато-планетарный вибровозбудитель. Авторы: Герасимов М.Д., Степанищев А.В., Апанасов А.А. Опубликовано: 27.02.2014.

5 Герасимов М.Д. Исследование планетарных вибраторов с направленными вынужденными колебаниями. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. науч. Ст.: в 2 ч. Ч.1/ редкол.: С.Ф. Яцун (отв. Ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск., 2014, 384 с, С. 91-100

6 Gerasimov M.D., Mkrtichev O. V., Stepanistchev V. A., Sevost'yanov V. S. Calculation of Main Kinematic Characteristics of the Single-Shaft Vibrator with Aimed Fluctuations// Research Journal of Applied Sciences. 2014. №9(11): С. 855-861.

7 Герасимов М.Д. Способ получения направленных механических колебаний для практического применения в технологических процессах / Строительные и дорожные машины. – 2014. №1. С. 35 – 38.

8 Герасимов М.Д. Влияние сдвига фаз и частоты вращения дебалансов двухчастотного вибрационного устройства. Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФНИЦ МС, 2018. - №1. -237 с., С. 160-164.

9 Герасимов М.Д. Коэффициент динамичности двухчастотного вибрационного устройства с асимметричными колебаниями. Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФНИЦ МС, 2018. - №1. -237 с., С. 131-134.

10 Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д., Герасимов Д.М. Математическая модель двухступенчатого вибрационного механизма// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №2, С.195-201

ОСВОЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Герасимов М.Д., канд. техн. наук, доц.,

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Шатохин С.Г., студент

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

Создание вибрационных машин с направленной асимметричной вынуждающей силой – одно из современных направлений совершенствования вибрационного технологического оборудования [1,2,3,4,5,6]. Асимметричные колебания позволяют получать существенную разницу по величине между составляющими вынуждающей силы, действующими в противоположных направлениях. Из двух направлений действия вынуждающей силы, как правило, можно выделить «рабочее» направление действия и «холостое». В «рабочем» направлении выполняется полезная работа: уплотнение грунта, забивание или выдёргивание свай, подбрасывание сортируемого материала на просеивающей плоскости. В «холостом» направлении наряду с тем, что происходит накапливание энергии и кинематическая перегруппировка элементов механизма, может выполняться вредная работа, такая как подбрасывание конструкции машины, принудительное сжатие пакета пружин и др., для чего необходимо применять дополнительные меры, например, использование пригрузов.

Величина составляющей вынуждающей силы в рабочем направлении может обозначаться как P_r , а в направлении холостого хода - P_x . Отношение этих величин может называться динамическим коэффициентом k_d или коэффициентом асимметрии вынуждающей силы. Коэффициент динамичности может быть больше единицы, если $k_d = P_r/P_x$, или меньше единицы, если используется обратная величина - P_x/P_r . В настоящее время создание асимметричных колебаний стараются достичь сложением направленных колебаний, создаваемых несколькими механизмами с направленными колебаниями, установленными последовательно друг за другом в виде нескольких ступеней.

При сложении колебаний нескольких вибраторов, результирующая вынуждающая сила может быть описана уравнением

$$P_n = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (2)$$

где P_n - суммарная величина вынуждающей силы, Н.

Выполним расчёт параметров суммарного колебательного процесса с использованием четырёх вибраторов направленных колебаний в соответствии с исходными данными.

Таблица 1

Исходные параметры

№ вибратора	Частота вращения дебалансного вала	Масса дебаланса вибратора	Радиус смещения центра тяжести
	об/мин	кг	см
1	500	10	3,8
2	1000	4	2,5
3	1500	2	1,4
4	2000	1	1,0

Выполняем расчёт изменения величины вынуждающей силы первого вибратора, табл. 2.

Таблица 2

Расчёт величины вынуждающей силы первого вибратора

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7		
2	3,1416	Масса (кг)	10	0	0	0	0	0	0		
3		Радиус (см)	3,8	0	0	0	0	0	0		
4	T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0		
5	0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500		
6											
7	dt	R (м)	0,038	0	0	0	0	0	0		
8	0,006	F10 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
9		w (1/c)	52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52		
10											
11		№	t								Сумма
12		0	0,000	2,08							2,08
13		1	0,006	1,98							1,98
14		2	0,012	1,69							1,69
15		3	0,018	1,22							1,22
16		4	0,024	0,64							0,64
17		5	0,030	0,00							0,00
18		6	0,036	-0,64							-0,64
19		7	0,042	-1,22							-1,22
20		8	0,048	-1,69							-1,69
21		9	0,054	-1,98							-1,98
22		10	0,060	-2,08							-2,08
23		11	0,066	-1,98							-1,98
24		12	0,072	-1,69							-1,69
25		13	0,078	-1,22							-1,22
26		14	0,084	-0,64							-0,64
27		15	0,090	0,00							0,00
28		16	0,096	0,64							0,64
29		17	0,102	1,22							1,22
30		18	0,108	1,69							1,69
31		19	0,114	1,98							1,98
32		20	0,120	2,08							2,08
33			Max	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08
34			Min	-2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,08
35			K	1							1,00
36										kd	1

Из таблицы 2 получаем величину вынуждающей силы 2,08 кН, коэффициент асимметрии вынуждающей силы составляет $k_d = 1,0$

График изменения величины вынуждающей силы первого вибратора в пределах одного периода представлен на рис. 1.

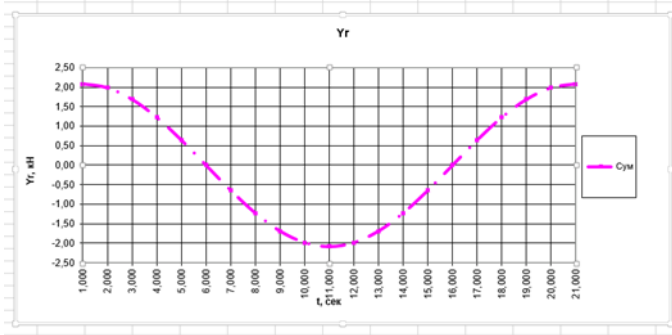


Рис. 1. $F = 2.08 \cdot \cos(52.36 \cdot t)$

Производим сложение колебаний первой и второй ступени вибрационного устройства, табл. 3

Таблица 3

Результаты расчёта суммарной вынуждающей силы от взаимного действия первой и второй ступени вибраторов

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	№ вибратора		1	2	3	4	5	6	7	
2	3.1416	Масса (кг)		10	4	0	0	0	0	0	
3		Радиус (см)		3.8	2.5	0	0	0	0	0	
4	T	Нач. фаза (град)		0	0	0	0	0	0	0	
5	0.12	Скорость (об/мин)		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	
6											
7		dt	R (м)	0.038	0.025	0	0	0	0	0	
8	0.006		F10 (рад)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9			w (1/c)	52.36	104.72	157.1	209.4	261.8	314.16	366.52	
10											
11		№	t								Сумма
12		0	0.000	2.08	2.19						4.28
13		1	0.006	1.98	1.77						3.76
14		2	0.012	1.69	0.68						2.36
15		3	0.018	1.22	-0.68						0.55
16		4	0.024	0.64	-1.77						-1.13
17		5	0.030	0.00	-2.19						-2.19
18		6	0.036	-0.64	-1.77						-2.42
19		7	0.042	-1.22	-0.68						-1.90
20		8	0.048	-1.69	0.68						-1.01
21		9	0.054	-1.98	1.77						-0.21
22		10	0.060	-2.08	2.19						0.11
23		11	0.066	-1.98	1.77						-0.21
24		12	0.072	-1.69	0.68						-1.01
25		13	0.078	-1.22	-0.68						-1.90
26		14	0.084	-0.64	-1.77						-2.42
27		15	0.090	0.00	-2.19						-2.19
28		16	0.096	0.64	-1.77						-1.13
29		17	0.102	1.22	-0.68						0.55
30		18	0.108	1.69	0.68						2.36
31		19	0.114	1.98	1.77						3.76
32		20	0.120	2.08	2.19						4.28
33			Max	2.08	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.28
34			Min	-2.08	-2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.42
35			K	1	1.00						0.57
36										кд	1.76857

Из таблицы 3 получаем величину вынуждающей силы 4,28 кН, коэффициент асимметрии вынуждающей силы составляет $k_d = 1,76857$.

График изменения величины вынуждающей силы первых двух ступеней вибраторов в пределах одного периода представлен на рис. 2.

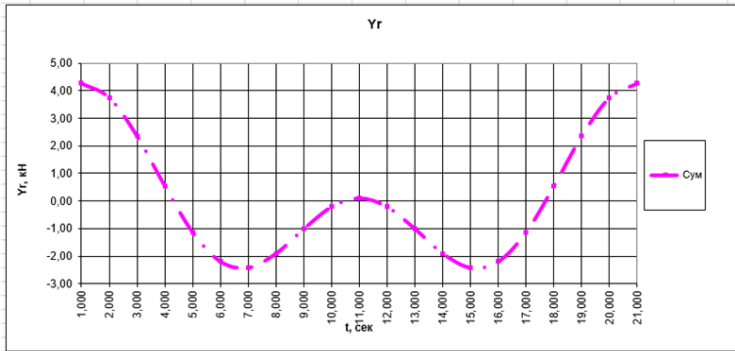


Рис. 2. $F = 2,08 \cdot \cos(52,36 \cdot t) + 2,19 \cdot \cos(104,72 \cdot t)$

Производим сложение колебаний первой, второй и третьей ступени вибрационного устройства, табл. 4

Таблица 4

Результаты расчёта суммарной вынуждающей силы от взаимного действия первой, второй и третьей ступени вибраторов

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7		
2	3,1416	Масса (кг)	10	4	2	0	0	0	0		
3		Радиус (см)	3,8	2,5	1,4	0	0	0	0		
4	T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0		
5	0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500		
6											
7	dt	R (м)	0,038	0,025	0,014	0	0	0	0		
8	0,006	F10 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
9		w (1/c)	52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52		
10											
11	№	t									Сумма
12	0	0,000	2,08	2,19	1,38						5,66
13	1	0,006	1,98	1,77	0,81						4,57
14	2	0,012	1,69	0,68	-0,43						1,94
15	3	0,018	1,22	-0,68	-1,31						-0,77
16	4	0,024	0,64	-1,77	-1,12						-2,25
17	5	0,030	0,00	-2,19	0,00						-2,19
18	6	0,036	-0,64	-1,77	1,12						-1,30
19	7	0,042	-1,22	-0,68	1,31						-0,59
20	8	0,048	-1,69	0,68	0,43						-0,58
21	9	0,054	-1,98	1,77	-0,81						-1,02
22	10	0,060	-2,08	2,19	-1,38						-1,27
23	11	0,066	-1,98	1,77	-0,81						-1,02
24	12	0,072	-1,69	0,68	0,43						-0,58
25	13	0,078	-1,22	-0,68	1,31						-0,59
26	14	0,084	-0,64	-1,77	1,12						-1,30
27	15	0,090	0,00	-2,19	0,00						-2,19
28	16	0,096	0,64	-1,77	-1,12						-2,25
29	17	0,102	1,22	-0,68	-1,31						-0,77
30	18	0,108	1,69	0,68	-0,43						1,94
31	19	0,114	1,98	1,77	0,81						4,57
32	20	0,120	2,08	2,19	1,38						5,66
33		Max	2,08	2,19	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00		5,66
34		Min	-2,08	-2,19	-1,38	0,00	0,00	0,00	0,00		-2,25
35		K	1	1,00	1,00						0,40
36										Кд	2,51674

Из таблицы 4 получаем величину вынуждающей силы 45,66 кН, коэффициент асимметрии вынуждающей силы составляет $K_d = 2,51674$.

График изменения величины вынуждающей силы первых трёх ступеней вибраторов в пределах одного периода представлен на рис. 3.

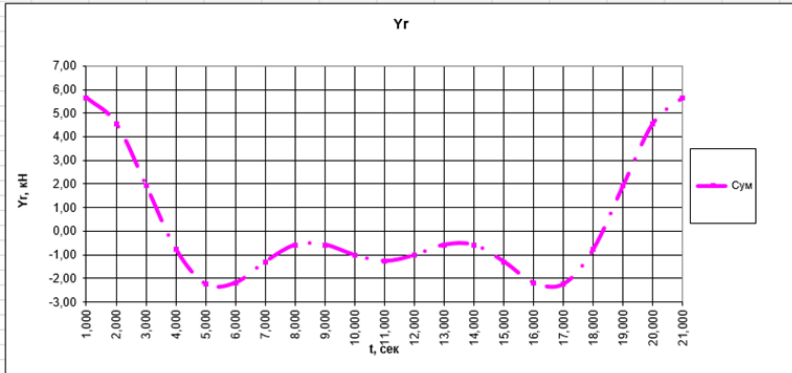


Рис. 3.

$$F = 2,08 \cdot \cos(52,36 \cdot t) + 2,19 \cdot \cos(104,72 \cdot t) + 1,38 \cdot \cos(157,1 \cdot t)$$

Производим сложение колебаний всех четырёх ступеней вибрационного устройства, табл. 5

Таблица 5

Результаты расчёта суммарной вынуждающей силы от взаимного действия четырёх ступени вибраторов

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pl	№ вибратора		1	2	3	4	5	6	7	
2	3,1416	Масса (кг)		10	4	2	1	0	0	0	
3		Радиус (см)		3,8	2,5	1,4	1	0	0	0	
4	T	Нач. фаза (град)		0	0	0	0	0	0	0	
5	0,12	Скорость (об/мин)		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	
6											
7	dt	R (м)		0,038	0,025	0,014	0,01	0	0	0	
8	0,005	F10 (рад)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9		w (1/c)		52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52	
10											
11	№	t									Сумма
12	0	0,000	2,08	2,19	1,38	0,88					6,54
13	1	0,006	1,98	1,77	0,81	0,27					4,84
14	2	0,012	1,69	0,68	-0,43	-0,71					1,23
15	3	0,018	1,22	-0,68	-1,31	-0,71					-1,48
16	4	0,024	0,54	-1,77	-1,12	0,27					-1,98
17	5	0,030	0,00	-2,19	0,00	0,88					-1,32
18	6	0,036	-0,54	-1,77	1,12	0,27					-1,03
19	7	0,042	-1,22	-0,68	1,31	-0,71					-1,30
20	8	0,048	-1,69	0,68	0,43	-0,71					-1,29
21	9	0,054	-1,98	1,77	-0,81	0,27					-0,75
22	10	0,060	-2,08	2,19	-1,38	0,88					-0,39
23	11	0,066	-1,98	1,77	-0,81	0,27					-0,75
24	12	0,072	-1,69	0,68	0,43	-0,71					-1,29
25	13	0,078	-1,22	-0,68	1,31	-0,71					-1,30
26	14	0,084	-0,54	-1,77	1,12	0,27					-1,03
27	15	0,090	0,00	-2,19	0,00	0,88					-1,32
28	16	0,096	0,54	-1,77	-1,12	0,27					-1,98
29	17	0,102	1,22	-0,68	-1,31	-0,71					-1,48
30	18	0,108	1,69	0,68	-0,43	-0,71					1,23
31	19	0,114	1,98	1,77	0,81	0,27					4,84
32	20	0,120	2,08	2,19	1,38	0,88					6,54
33		Max	2,08	2,19	1,38	0,88	0,00	0,00	0,00		6,54
34		Min	-2,08	-2,19	-1,38	-0,71	0,00	0,00	0,00		-1,98
35		K	1	1,00	1,00	0,81					0,30
36										кд	3,30549

Из таблицы 5 получаем величину вынуждающей силы 6,54 кН, коэффициент асимметрии вынуждающей силы составляет $k_d = 3,30549$.

График изменения величины вынуждающей силы четырёх ступеней вибраторов в пределах одного периода представлен на рис. 4.

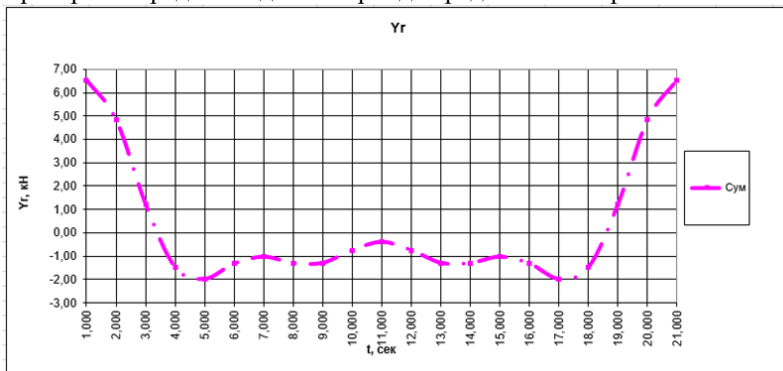


Рис. 4.

$$F = 2,08 \cdot \cos(52,36 \cdot t) + 2,19 \cdot \cos(104,72 \cdot t) + 1,38 \cdot \cos(157,1 \cdot t) + 0,88 \cdot \cos(209,4 \cdot t)$$

Таким образом получена суммарная величина вынуждающей силы равная $F = 6,54$ кН. Коэффициент динамичности системы $k_d = 3,3$.

Следует обратить внимание на то, что при увеличении числа ступеней при сложении колебаний происходит несколько положительных эффектов:

- увеличивается суммарная величина вынуждающей силы;
- изменяется соотношение времени действия составляющей вынуждающей силы на выполнение рабочего процесса и времени действия составляющей вынуждающей силы на выполнение холостого хода;
- время действия составляющей вынуждающей силы на выполнение рабочего процесса ($t_{р.п.}$) с увеличением числа ступеней от 1 до 4 сокращается с 0,06 сек (рис.1) до 0,03 сек (рис. 4), т.е. сократилось на 50%. Это позволяет существенно повысить импульс силы.

Статья подготовлена в рамках реализации рабочего плана дисциплины «Машины специального назначения» и выполнения плана научно-исследовательской работы студентов в учебном процессе.

Библиографический список:

1. Герасимов М.Д. Коэффициент динамичности двухчастотного вибрационного устройства с асимметричными колебаниями // Машины,

агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – №1. – С. 131-134.

2. Герасимов М.Д. Влияние сдвига фаз и частоты вращения дебалансов двухчастотного вибрационного устройства // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – №1. – С. 160-164.

3. www.impulse.su – ООО Технопарк «Импульс».

4. Суворов А.В., Левинзон А.Л. Машины для свайных работ / Под ред. С.П. Епифанова и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 150с.

5. An Introduction to Mechanical Engineering. Michael Clifford (editor) Richard Brooks, Kwing-So Choi, Donald Giddings, Alan Howe, Thomas Hyde, Arthur Jones and Edward Williams. University of Nottingham. 2010. Part 2. PP. 480. Hodder Education, An Hachette UK Company, 338 Euston Road, London NW1 3BH. ISBN: 978 0 340 93996 3 123456789 10

6. Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д., Герасимов Д.М., Степанищев В.А., Исследование многоступенчатого вибрационного механизма с направленными колебаниями каждой ступени// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2017, №3, С.88-93

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕВОДА ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С НАПРАВЛЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ В АСИММЕТРИЧНЫЕ

Герасимов М.Д., канд. техн. наук, доц.,

Шатохин С.Г., студент,

Молчанов Е.Ю., студент,

Шумаков А.В., студент,

Киреев Н.О., студент,

Бутиков П.С., студент

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

При решении задачи перевода вибрационного устройства дорожно-строительной машины с одночастотного формата в многочастотный, с достижением требуемой степени асимметрии колебаний, возникает необходимость рассмотрения поведения вынуждающей силы в условиях компоновки нового вибрационного устройства при различном числе ступеней с разной частотой вращения дебалансных валов. Как правило, для работы дорожно-строительной машины уже рассчитаны требуемые параметры и величины: вынуждающей силы, амплитуды колебаний, частоты и др. В тоже время, величина вынуждающей силы может быть предпочтительной в качестве базовой, при решении подобных задач и оставаться величиной постоянной для всех конструкций вибрационного устройства. Используя методику проектирования вибрационных устройств с асимметричными колебаниями [1,2,3,4] при необходимости можно выбрать оптимальный вариант для конкретных условий.

Таблица 1

Исходные данные для расчёта

Тип машин ы	Величина вынуждающей силы базовой машины	Число ступеней в вибрационном устройстве, шт						
		1	2	3	4	5	6	7
		Частота вращения дебалансных валов, об/мин						
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
		Величина сил, составляющих суммарную вынуждающую силу, кН						
	F, кН	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Вибро. стол	5	5	3,35 +1,65	2,5 +1,65 +0,85	2 +1,5 +1 +0,5	1,65 +1,35 +1 +0,65 + 0,35	1,45 +1,2 +0,95 +0,7 +0,5+ 0,25	1,25 +1 +0,9 + 0,7 +0,55 +0,4 + 0,2

Рассматривается пример расчёта при проектировании вибрационного устройства с асимметричными колебаниями с числом ступеней вибраторов с направленными колебаниями от 2 до 7. Величина вынуждающей силы для всех проектируемых вибрационных устройств принимается равной величине вынуждающей силы базовой машины и составляет, например, 5 кН. Величина коэффициента асимметрии вынуждающей силы, коэффициента динамичности, k_d , должна составлять наибольшую возможную величину для таких вибрационных устройств и составлять $k_d \approx n$. Здесь n – число ступеней в вибрационном устройстве.

Составляем таблицу исходных данных для расчёта вибрационных устройств с числом ступеней одночастотных вибраторов направленного действия от 1 до 7, табл. 1.

Составляем расчётный модуль для расчёта вынуждающей силы базовой машин при $n=500$ об/м

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7		
2	3,1416	Масса (кг)	15,2	0	0	0	0	0	0	0	
3		Радиус (см)	6	1	1	1	1	1	1	1	
4	T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500		
6											
7	dt	R (м)	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
8	0,006	Fi0 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9		w (1/с)	52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52		
10											
11		№	t								Сумма
12		0	0,000	5,00							5,00
13		1	0,006	4,76							4,76
14		2	0,012	4,05							4,05
15		3	0,018	2,94							2,94
16		4	0,024	1,55							1,55
17		5	0,030	0,00							0,00
18		6	0,036	-1,55							-1,55
19		7	0,042	-2,94							-2,94
20		8	0,048	-4,05							-4,05
21		9	0,054	-4,76							-4,76
22		10	0,060	-5,00							-5,00
23		11	0,066	-4,76							-4,76
24		12	0,072	-4,05							-4,05
25		13	0,078	-2,94							-2,94
26		14	0,084	-1,55							-1,55
27		15	0,090	0,00							0,00
28		16	0,096	1,55							1,55
29		17	0,102	2,94							2,94
30		18	0,108	4,05							4,05
31		19	0,114	4,76							4,76
32		20	0,120	5,00							5,00
33			Max	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
34			Min	-5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,00
35			K	1							1,00
36										kд	1

Рис.1. Расчетный модуль одноступенчатого вибрационного устройства

График изменения величин вынуждающей силы F_1 , представлен на рис. 2.

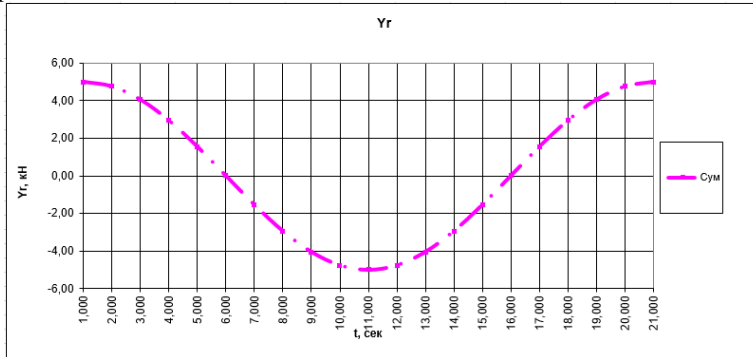


Рис. 2. График одноступенчатого вибрационного устройства, $F_{\text{сумм1}} = F_1$

Составляем расчётный модуль для вибрационного устройства, состоящего из двух ступеней, рис. 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7		
2	3,1416	Масса (кг)	10,18	1,88	0	0	0	0	0	0	
3		Радиус (см)	6	4	1	1	1	1	1		
4	T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500		
6											
7	dt	R (м)	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
8	0,006	F10 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
9		w (1/с)	52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52		
10											
11		№	t								Сумма
12		0	0,000	3,35	1,65						5,00
13		1	0,006	3,19	1,33						4,52
14		2	0,012	2,71	0,51						3,22
15		3	0,018	1,97	-0,51						1,46
16		4	0,024	1,03	-1,33						-0,30
17		5	0,030	0,00	-1,65						-1,65
18		6	0,036	-1,03	-1,33						-2,37
19		7	0,042	-1,97	-0,51						-2,48
20		8	0,048	-2,71	0,51						-2,20
21		9	0,054	-3,19	1,33						-1,85
22		10	0,060	-3,35	1,65						-1,70
23		11	0,066	-3,19	1,33						-1,85
24		12	0,072	-2,71	0,51						-2,20
25		13	0,078	-1,97	-0,51						-2,48
26		14	0,084	-1,03	-1,33						-2,37
27		15	0,090	0,00	-1,65						-1,65
28		16	0,096	1,03	-1,33						-0,30
29		17	0,102	1,97	-0,51						1,46
30		18	0,108	2,71	0,51						3,22
31		19	0,114	3,19	1,33						4,52
32		20	0,120	3,35	1,65						5,00
33			Max	3,35	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
34			Min	-3,35	-1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,48
35			K	1	1,00						0,50
36									кд		2,01694

Рис. 3. Расчет двухступенчатого вибрационного устройства

График изменения суммарной вынуждающей силы
вибрационного устройства из двух ступеней, приведен на рис. 4.

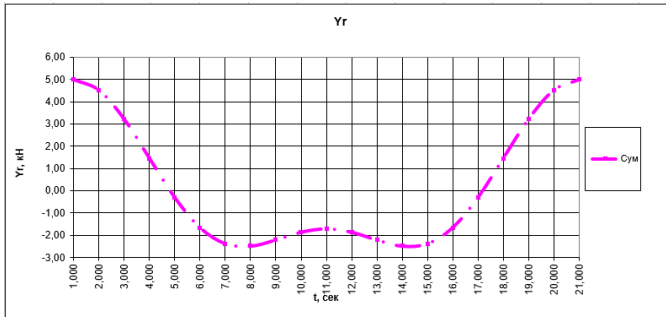


Рис. 4. График двухступенчатого вибрационного устройства,

$$F_{\text{сумм2}} = F_1 + F_2$$

Составляем расчётный модуль для вибрационного устройства с
тремя ступенями, рис. 5.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	Не вибратора	1	2	3	4	5	6	7		
2	3,1416	Масса (кг)	4,56	1	0,86	0	0	0	0	0	
3		Радиус (см)	10	7,54	2	0	0	0	0	0	
4	T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500		
6											
7	dt	R (м)	0,1	0,0754	0,02	0	0	0	0	0	
8	0,006	Fl0 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9		w (1/c)	52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52		
10											
11		Nb	t								Сумма
12		0	0,000	2,50	1,65	0,85					5,00
13		1	0,006	2,38	1,34	0,50					4,21
14		2	0,012	2,02	0,51	-0,26					2,27
15		3	0,018	1,47	-0,51	-0,81					0,15
16		4	0,024	0,77	-1,34	-0,69					-1,25
17		5	0,030	0,00	-1,65	0,00					-1,65
18		6	0,036	-0,77	-1,34	0,69					-1,42
19		7	0,042	-1,47	-0,51	0,81					-1,17
20		8	0,048	-2,02	0,51	0,26					-1,25
21		9	0,054	-2,38	1,34	-0,50					-1,54
22		10	0,060	-2,50	1,65	-0,85					-1,70
23		11	0,066	-2,38	1,34	-0,50					-1,54
24		12	0,072	-2,02	0,51	0,26					-1,25
25		13	0,078	-1,47	-0,51	0,81					-1,17
26		14	0,084	-0,77	-1,34	0,69					-1,42
27		15	0,090	0,00	-1,65	0,00					-1,65
28		16	0,096	0,77	-1,34	-0,69					-1,25
29		17	0,102	1,47	-0,51	-0,81					0,15
30		18	0,108	2,02	0,51	-0,26					2,27
31		19	0,114	2,38	1,34	0,50					4,21
32		20	0,120	2,50	1,65	0,85					5,00
33			Max	2,50	1,65	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
34			Min	-2,50	-1,65	-0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,70
35			K	1	1,00	1,00					0,34
36									кд		2,95084

Рис. 5. Расчетный модуль трехступенчатого вибрационного устройства

График изменения суммарной вынуждающей силы
вибрационного устройства из трёх ступеней, приведен на рис. 5.

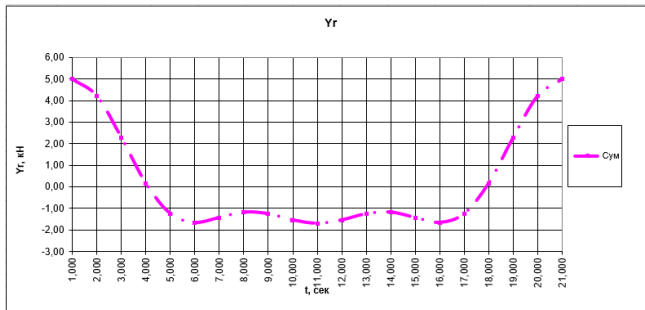


Рис. 6 - График трехступенчатого вибрационного устройства,

$$F_{\text{суммз}} = F_1 + F_2 + F_3$$

Составляем расчётный модуль для вибрационного устройства с четырьмя ступенями, рис. 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	pi	№ вибратора		1	2	3	4	5	6	7	
2	3,1416	Масса (кг)		3,65	1	1,01	0,57	0	0	0	
3		Радиус (см)		10	6,85	2	1	0	0	0	
4	T	Нач. фаза (град)		0	0	0	0	0	0	0	
5	0,12	Скорость (об/мин)		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	
6											
7	dt	R (м)		0,1	0,0685	0,02	0,01	0	0	0	
8	0,006	F10 (рад)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9		w (1/с)		52,36	104,72	157,1	209,4	261,8	314,16	366,52	
10											
11		№	t								Сумма
12		0	0,000	2,00	1,50	1,00	0,50				5,00
13		1	0,006	1,90	1,22	0,59	0,15				3,86
14		2	0,012	1,62	0,46	-0,31	-0,40				1,37
15		3	0,018	1,18	-0,46	-0,95	-0,40				-0,64
16		4	0,024	0,62	-1,22	-0,81	0,15				-1,25
17		5	0,030	0,00	-1,50	0,00	0,50				-1,00
18		6	0,036	-0,62	-1,22	0,81	0,15				-0,87
19		7	0,042	-1,18	-0,46	0,95	-0,40				-1,10
20		8	0,048	-1,62	0,46	0,31	-0,40				-1,25
21		9	0,054	-1,90	1,22	-0,59	0,15				-1,12
22		10	0,060	-2,00	1,50	-1,00	0,50				-1,00
23		11	0,066	-1,90	1,22	-0,59	0,15				-1,12
24		12	0,072	-1,62	0,46	0,31	-0,40				-1,25
25		13	0,078	-1,18	-0,46	0,95	-0,40				-1,10
26		14	0,084	-0,62	-1,22	0,81	0,15				-0,87
27		15	0,090	0,00	-1,50	0,00	0,50				-1,00
28		16	0,096	0,62	-1,22	-0,81	0,15				-1,25
29		17	0,102	1,18	-0,46	-0,95	-0,40				-0,64
30		18	0,108	1,62	0,46	-0,31	-0,40				1,37
31		19	0,114	1,90	1,22	0,59	0,15				3,86
32		20	0,120	2,00	1,50	1,00	0,50				5,00
33			Max	2,00	1,50	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	5,00
34			Min	-2,00	-1,50	-1,00	-0,40	0,00	0,00	0,00	-1,25
35			K	1	1,00	1,00	0,81				0,25
36										кд	3,99608

Рис. 7 - Расчет четырехступенчатого вибрационного устройства

График изменения суммарной вынуждающей силы вибрационного устройства из трёх ступеней, приведен на рис. 8.

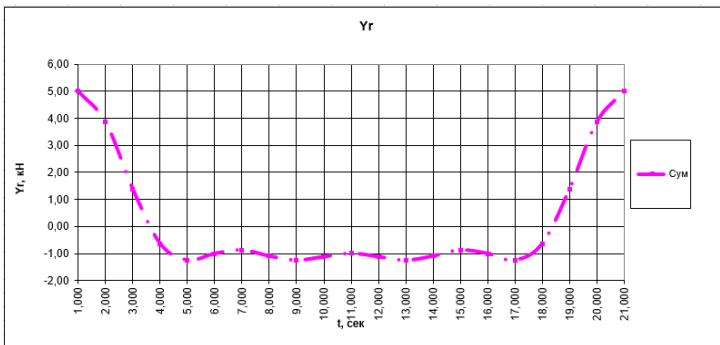


Рис. 8 - График четырехступенчатого вибрационного устройства,

$$F_{\text{сумм4}} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

Аналогично проводим вычисления для 5-ти, 6-ти и 7-и ступеней вибрационного устройства. Результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями с различным числом ступеней

Тип машины	Величина вынуждающей силы базовой машины	Число ступеней в вибрационном устройстве, шт						
		1	2	3	4	5	6	7
		Частота вращения дебалансных валов, об/мин						
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
		Величина суммарной вынуждающей силы, кН						
Вибро. стол	F, кН	F1	F1+2	F1+2+3	F1+2+3+4	F1+2+3+4+5	F1+2+3+4+5+6	F1+2+3+4+5+6+7
	5	5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
		Коэффициент динамичности системы, кд						
		1,0	2,02	2,95	4,0	5,01	5,96	6,35

Вывод. В результате выполнения численного метода получены условия перевода направленных колебаний одиночного вибратора с величиной вынуждающей силы равной 5,0 кН в асимметричные колебания с гарантированной величиной коэффициента динамичности вибрационной системы.

Работа выполнена в соответствии с реализацией НИРС в учебном процессе по курсу «Машины специального назначения» и реализации плана НИР кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин опорного университета БГТУ им. В.Г. Шухова.

Библиографический список:

1 M D Gerasimov, O V Mkrtichev, P S Gorshkov. Estimation of two- and three-stage vibration device's parameters with asymmetric oscillations in terms of system's dynamic factor. MEACS 2017. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 052012 doi:10.1088/1757-899X/327/5/052012

2 M. D. Gerasimov, O. V. Mkrtichev, S. N. Glagolev, D. M. Gerasimov, S. S. Latishev. Method of Determination of Vibrating Screens Oscillation's Amplitude in a Characteristic Point for Plane Motion. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. VOL.11, NO 20, October. PP. 12295-12301. www.arpnjournals.com
<http://www.ripublication.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994252364&partnerID=40&md5=d567ae7587e5391180bb4744779a9185>

3 Герасимов М.Д. Теоретическое обоснование метода повышения коэффициента асимметрии вынуждающей силы многоступенчатого вибрационного механизма направленных колебаний // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №4, С.86-11

4 Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д., Герасимов Д.М., Степанищев В.А. Исследование многоступенчатого вибрационного механизма с направленными колебаниями каждой ступени// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №3, С.88-93

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗА МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Герасимов М.Д., канд. техн. наук, доц.,

Шатохин С.Г., студент,

Молчанов Е.Ю., студент,

Шумаков А.В., студент,

Киреев Н.О., студент,

Бутиков П.С., студент

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

Если изменение вынуждающей силы вибрационного устройства подчиняется некоторому закону, описываемому аналитическим уравнением, то такое изменение с достаточной степенью приближения для технических задач можно формировать суммированием элементарных гармоник. Такую возможность предоставляет метод разложения функций в ряд Фурье, члены которого представляют элементарные гармоники [1,2,3,4].

Постановка задачи.

Пусть вынуждающая сила (F), действующая со стороны рабочего оборудования на грунт, подчиняется некоторому закону изменения в пределах одного воздействия (одного периода, T , с), как $F = y = x^4$. Наименьшая частота вращения дебалансных валов $n = 500$ об/мин. Частота колебаний – $f = 500/60 = 8,33$ кол/с. Период колебаний, $T = 1/f = 0,12$ с.

Анализ. Для решения поставленной задачи целесообразно использовать разложение функции $y = x^4$ в ряд Фурье, предполагая, что каждое слагаемое ряда даст величину составляющей вынуждающей силы, каждая из которых в дальнейшем может быть использована для проектирования отдельных ступеней вибрационного устройства.

Возьмём функцию $y = x^4$. Разложим её в ряд Фурье и имеем.

$$y = x^4 = \frac{\pi^4}{5} + 48 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n^2} \left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{n^2} \right) \cos nx = \frac{\pi^4}{5} - 48 \cdot \left[\left(\frac{\pi^2}{6} - 1 \right) \cos x - \frac{1}{2^2} \left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{2^2} \right) \cos 2x + \frac{1}{3^2} \left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{3^2} \right) \cdot \cos 3x - \frac{1}{4^2} \left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{4^2} \right) \cos 4x \right) + \left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{5^2} \right) \cos 5x - \dots \right], \text{ или:}$$

$$y = 19.44 - 48 \cdot (1.643 \cdot \cos x - 0.572 \cdot \cos 2x + 0.348 \cdot \cos 3x - 0.19 \cdot \cos 4x + 0.1 \cdot \cos 5x)$$

Выносим за скобки коэффициент при первом слагаемом в скобках, имеем:

$$y = 19.44 - 78.864 \cdot (\cos x - 0.348 \cdot \cos 2x + 0.212 \cdot \cos 3x - 0.116 \cdot$$

0.61 ·	Значение коэффициентов при слагаемых в скобках				
	k1	k2	k3	k4	k5
	1.643	0.572	0.348	0.19	0.1
cos5x)	Выносим за скобки величину 1.643, имеем коэффициенты				
	1	0.348	0.212	0.116	0.061

Принимаем для $n=500$ об/мин параметры: $\omega = 52,3$ рад/с; частота: $f = 8,33$ Гц, период колебаний: $T=0,12$ с. Принимаем для деления периода 20 точек, тогда интервал составит: $dt = 0,006$ с. Переменная $x = (\omega dt)$.

Составляем расчётные таблицы полученных слагаемых в скобках уравнения (1):

Таблица 1

Расчёт параметров ряда Фурье для функции $y=x^4$.

Nenn	dt	ω	2ω	3ω	4ω	5ω	cosx	cos2x	cos3x	cos4x	cos5x
1	0	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	1	-0,348	0,212	-0,116	0,061
2	0,006	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,951167	-0,28168	0,124795	-0,036	0,00011
3	0,012	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,809439	-0,10801	-0,06508	0,09365	-0,061
4	0,018	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,588657	0,106824	-0,20141	0,094139	-0,00033
5	0,024	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,310383	0,280949	-0,17205	-0,03521	0,060998
6	0,03	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,001796	0,347998	-0,00114	-0,116	0,000548
7	0,036	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,30697	0,282417	0,170702	-0,0368	-0,061
8	0,042	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,58575	0,109201	0,202112	0,093155	-0,00077
9	0,048	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,80732	-0,10563	0,067248	0,094624	0,060994
10	0,054	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,95005	-0,28021	-0,12294	-0,03442	0,000986
11	0,06	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,99999	-0,34799	-0,21199	-0,11599	-0,06099
12	0,066	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,95227	-0,28315	-0,12664	-0,03759	-0,00121
13	0,072	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,81154	-0,11039	0,062898	0,092656	0,060986
14	0,078	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,59156	0,104442	0,200686	0,095103	0,001424
15	0,084	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,3138	0,279466	0,173372	-0,03362	-0,06098
16	0,09	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	-0,00539	0,34798	0,003427	-0,11597	-0,00164
17	0,096	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,303545	0,283871	-0,16934	-0,03837	0,060975
18	0,102	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,582833	0,111573	-0,20279	0,092152	0,001863
19	0,108	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,805199	-0,10325	-0,06941	0,095578	-0,06097
20	0,114	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,948925	-0,27872	0,121072	-0,03282	-0,00208
21	0,12	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,999974	-0,34796	0,211951	-0,11595	0,060961
22	0,126	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,953361	-0,28459	0,12846	-0,03916	0,002301
23	0,132	52,3	104,6	156,9	209,2	261,5	0,813637	-0,11276	-0,06071	0,091644	-0,06095

Производим поочерёдно сложение сумм 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти слагаемых в скобках по уравнению (1): столбцы – I, II, ..., V; умножаем

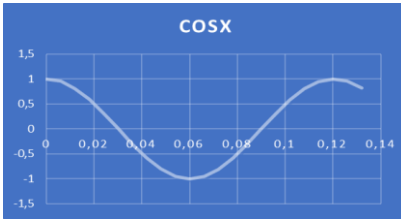
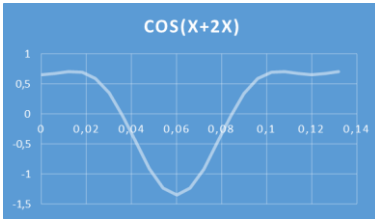
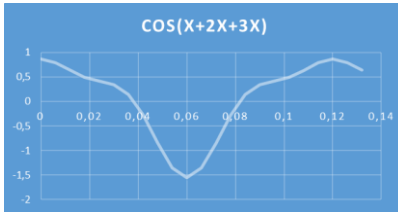
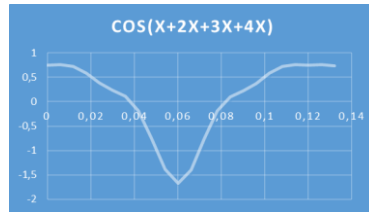
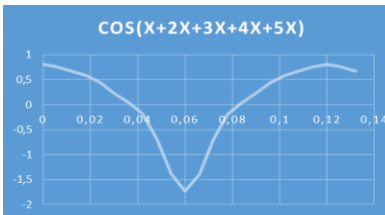
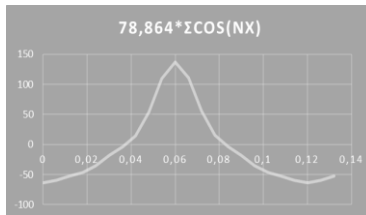
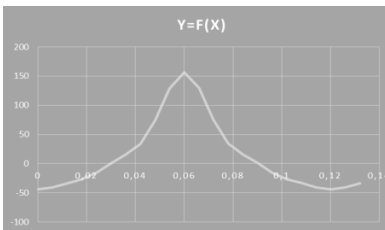
полученное значение в скобках на 78,864 (столбец VI); прибавляем свободный член 19,94 (столбец VII).

Таблица 2

Последовательный расчёт сумм 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти слагаемых в скобках уравнения (1)

II	III	IV	V	VI		VII
$x+2x$	$3x$	$4x$	$5x$	78,864	19,44	
0,652	0,864	0,748	0,809	-63,801	19,44	-44,361
0,669483	0,794278	0,758273	0,758383	-59,8091	19,44	-40,3691
0,701426	0,636349	0,729998	0,668999	-52,7599	19,44	-33,3199
0,695481	0,49407	0,588209	0,58788	-46,3626	19,44	-26,9226
0,591332	0,419285	0,384074	0,445072	-35,1002	19,44	-15,6602
0,349794	0,348652	0,232655	0,233202	-18,3913	19,44	1,048719
-0,02455	0,146153	0,109357	0,048361	-3,81393	19,44	15,62607
-0,47655	-0,27444	-0,18128	-0,18205	14,35694	19,44	33,79694
-0,91296	-0,84571	-0,75109	-0,69009	54,4235	19,44	73,8635
-1,23026	-1,3532	-1,38762	-1,38663	109,3554	19,44	128,7954
-1,34798	-1,55997	-1,67596	-1,73695	136,9829	19,44	156,4229
-1,23542	-1,36205	-1,39964	-1,40084	110,476	19,44	129,916
-0,92193	-0,85903	-0,76638	-0,70539	55,62992	19,44	75,06992
-0,48712	-0,28643	-0,19133	-0,1899	14,9764	19,44	34,4164
-0,03433	0,139042	0,105422	0,044442	-3,50485	19,44	15,93515
0,342591	0,346018	0,230045	0,228402	-18,0127	19,44	1,427337
0,587416	0,418079	0,379706	0,44068	-34,7538	19,44	-15,3138
0,694406	0,491615	0,583768	0,58563	-46,1851	19,44	-26,7451
0,701951	0,63254	0,728118	0,66715	-52,6141	19,44	-33,1741
0,670206	0,791278	0,758457	0,756376	-59,6508	19,44	-40,2108
0,65201	0,863961	0,748009	0,808969	-63,7986	19,44	-44,3586
0,668769	0,797229	0,75807	0,760371	-59,9659	19,44	-40,5259
0,700881	0,640169	0,731812	0,67086	-52,9067	19,44	-33,4667
$k_d = 2,279572$	1,805523	2,30177	2,147034	2,147034		

Последняя строка таблицы 2 содержит расчётные значения коэффициента асимметрии при каждом дополнении количества слагаемых.

График I. (k_д=1.0)График II. (k_д=2,28)График III. (k_д=1,81)График IV. (k_д=2,3)График V. (k_д=2,14)График VI. (k_д=2,14)График VII. (k_д=3,53)График VIII. Изменение величины коэффициента динамичности (k_д) от числа слагаемых (n)

Вывод. Параметром оценки эффективности использования исходной функции для формирования элементарных гармоник суммарной величины вынуждающей силы может служить коэффициент динамичности вибрационной системы, график VIII. Величины значения первого члена ряда Фурье и значение величины числа, вынесенного за скобки 19,44 и 78,864 (1), не влияют непосредственно на величину коэффициента динамичности (величину коэффициента асимметрии вынуждающей силы), графики I...V, а влияет опосредованно, через коэффициенты перед последующими членами ряда в скобках. Эти значения оказывают существенное влияние на суммарное значение величины вынуждающей силы, графики VI и VII. Поэтому, для анализа, в аналогичных случаях, достаточно рассматривать коэффициент динамичности вибрационной системы в пределах изменения величин членов ряда в скобках.

Статья подготовлена по результатам НИРС в учебном процессе при освоении дисциплины «Машины специального назначения».

Библиографический список:

1 M D Gerasimov, O V Mkrtychev, P S Gorshkov. Estimation of two- and three-stage vibration device's parameters with asymmetric oscillations in terms of system's dynamic factor. MEACS 2017. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 052012 doi:10.1088/1757-899X/327/5/052012

2 M. D. Gerasimov, O. V. Mkrtychev, S. N. Glagolev, D. M. Gerasimov, S. S. Latyishev. Method of Determination of Vibrating Screens Oscillation's Amplitude in a Characteristic Point for Plane Motion. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. VOL.11, NO 20, October. PP. 12295-12301. www.arnpjournals.com

<http://www.ripublication.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994252364&partnerID=40&md5=d567ae7587e5391180bb4744779a9185>

3 Герасимов М.Д. Теоретическое обоснование метода повышения коэффициента асимметрии вынуждающей силы многоступенчатого вибрационного механизма направленных колебаний // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №4, С.86-11

4 Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д., Герасимов Д.М., Степанищев В.А. Исследование многоступенчатого вибрационного механизма с направленными колебаниями каждой ступени// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №3, С.88-93

АНАЛИЗ РЫНКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ-ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Горшков П.С., канд. техн. наук, доц.,

Кун М.С., магистрант

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

История развития конструкций сепараторов шло по пути совершенствования двух основных типов агрегатов- «центробежных» и «гравитационных». Различия заключаются в различных физических процессах, используемых для классификации, где в первом случае работа основывается на взаимодействии центробежных сил, и аэродинамических потоков воздуха, эффективная работа достигается с фракцией менее 80 мкм. Второй тип основывается на действии силы тяжести и аэродинамики, наибольшая эффективность работы достигается при работе с крупностью частиц 100-500 мкм. Эксплуатационная эффективность зависит от аэродинамического режима, создаваемого в сепараторе.

Мировой рынок сепараторов представлен различными производителями промышленных установок, каждый из которых имеет собственный опыт улучшения характеристик при модификации своей продукции.

На рисунке 1 показана схема классических центробежных сепараторов первого поколения, выпуск и использование которых прекратилось в конце 1960-х годов. Конструктивные решения в сепараторах такого типа в большинстве случаев аналогичны, и заключается в определении двух основных рабочих зон: разделения 1 и классификации 2. Загрузка материала А производится во внутреннюю полость сепаратора на быстро вращающийся диск (тарелку), где под действием сил инерции происходит его смещение в зону действия аэродинамических потоков воздуха, нагнетаемых вентилятором, после чего материал-воздушная смесь поднимается в верхнюю часть корпуса сепаратора. Крупные частицы (Крупка) под действием силы тяжести, опускается в зону выгрузки по патрубку Г. Мелкая фракция отделяется от воздуха и поступает в зону разгрузки готового продукта Ф. Для направления воздушного потока внутри сепаратора применяются направляющие жалюзи 3, воздух возвращается в зону классификации и создает необходимый для работы воздушный поток, циркулирующий в сепараторе.

Настройка работы сепаратора заключается в изменении количества оборотов приводного ротора, задачей которого является изменение объема воздуха, подаваемого в сепаратор и скорости вращения разбрасывающего диска, в итоге это приводит к изменению пропорции смешивания и траектории движения материало-воздушной смеси. Во время остановки оборудования существует возможность регулировки за счет угла установки лопастей, и их количества на разбрасывающей тарелке и жалюзях.

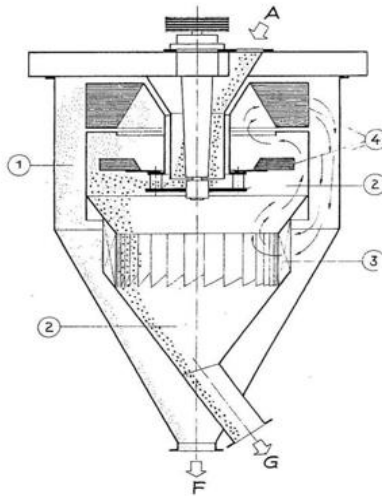


Рисунок 1 Циркуляционный воздушный сепаратор:

1-зона разделения; 2-зона классификации; 3-направляющие жалюзи;
4-рабочие лопасти. А-зона загрузки материала; F-патрубок разгрузки
готового продукта; G-патрубок выхода крупки.

В начале 1960-х годов производители начинают внедрение сепараторов второго поколения, где процесс классификации выносится за пределы одного устройства, сепаратор начинает работать совместно с циклонами-осадителями, благодаря чему значительно повышаются его эксплуатационные характеристики. Циклоны-осадители предназначены для разделения воздуха и мелкой фракции материала. Рассмотрим сепаратор второго поколения на примере продукции компании *KND* выпуска 1964 года, рисунок 2.

Исходный материал по загрузочному патрубку 4 поступает в центр вращающейся разбрасывающей тарелки 9, под действием сил инерции

смещается к её краю и захватывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором 28. Эта зона является классифицирующей, на этом этапе происходит отделение крупки от готового продукта, и они выносятся с воздухом в осадительные циклоны 11, воздух из которых возвращается в сепаратор направляющим аппаратом 15. Неиспользуемый воздух удаляется через патрубок 26 индивидуальной аспирационной системы сепаратора.

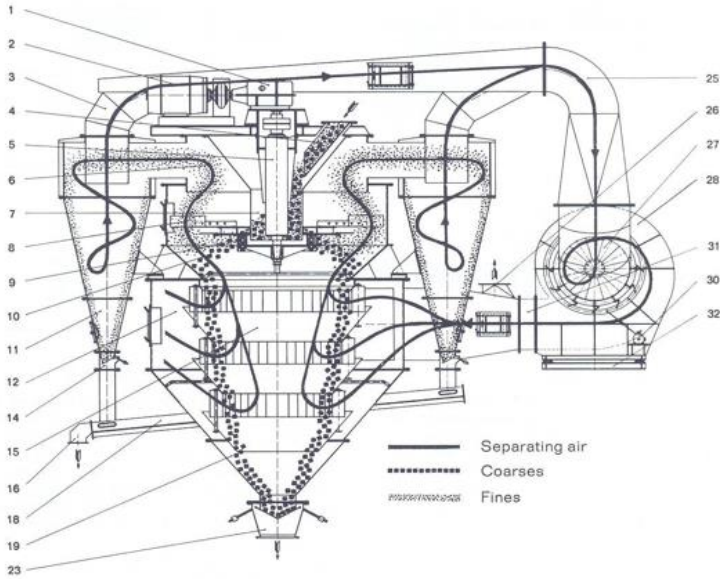


Рисунок 2 Центробежный сепаратор с внешней зоной осаждения компании KHD Humbolt Wedag:

1-редуктор; 2-двигатель; 3-воздушный коллектор; 4-патрубок подачи. 5-приводной вал; 6-аспирационный короб; 7-труба подачи; 8-крыльчатка; 9-распределительная тарелка; 10-сепарационная камера; 11-циклон. 12-нижний корпус; 14-мигалка; 15-направляющий аппарат; 16-патрубок мелкой фракции; 18-аэрожелоб. 19-камера сбора крупки; 23-мигалка; 25-воздуховод. 26-патрубок сброса излишков воздуха; 27-регулятор разряжения; 28-вентилятор; 30-привод заслонки регулятора; 31-компенсатор; 32-рама.

Достоинством данной конструкции является возможность достижения производительности мелкой фракции до 500 т/ч; отсутствие зависимости качества подачи материала в сепаратор и дисперсности конечного продукта. Сепаратор такой конструкции позволяет получение

готового продукта с уровнем дисперсности от 2500 до 7000 см²/г, при КПД равном 50-55%.

Аналоги иностранных сепараторов в СССР выпускались в г.Тольятти с 1976 до 1988 года предприятием ВолгоЦЕММАШ в двух различных модификациях СМЦ-419 рисунок 3 и СМЦ-420. Комплектование производственных линий цементных предприятий в составе которых находились такие сепараторы в основном основывалось на базе шаровых мельниц 3,0×14 м или 3,2×15 м, с максимальной производительностью 60 т/ч.

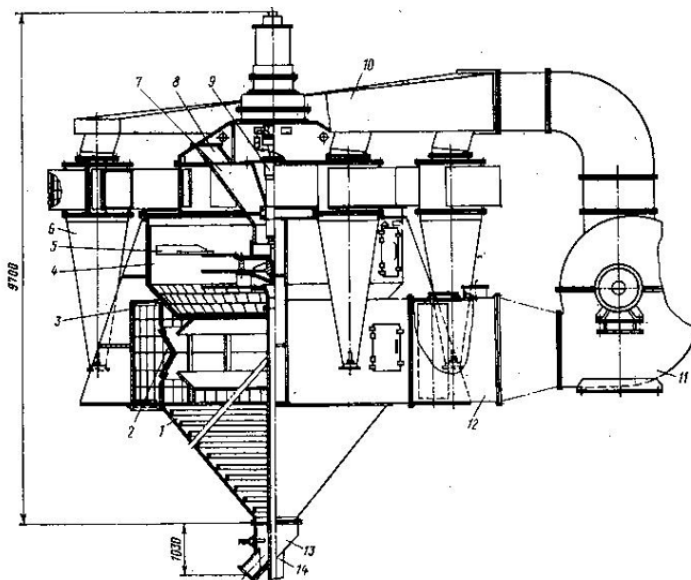


Рисунок 3 – Сепаратор СМЦ-419 с выносными циклонами и внешним вентилятором:

1 – зона разгрузки; 2 – конусная решетка; 3 – улитка; 4 – камера; 5 – ротор; 6 – циклоны осадители; 7 – зона загрузки; 8 – загрузочные отверстия; 9 – вал ротора; 10 – коллектор; 11 – вентилятор; 12 – воздуховод; 13 – разгрузочная точка; 14 – отверстие для ввода патрубка пневмотранспорта.

В 1981 году продуктом сотрудничества компаний из Японии и США стал сепаратор нового, третьего поколения который и используется по настоящее время в различных модификациях. Показатели эффективности по сравнению со вторым поколением возросли в среднем на 60%, уменьшились металлоёмкость и

энергопотребление. Подача материала: центральная сверху (2 или 4 входа)

Работает сепаратор по следующему принципу: исходный материал попадает в верхнюю часть ротора на разбрасывающий диск, поступает в зазор между ротором и направляющими пластинами, где попадает в зону сепарации, в которой попадает под действие воздушного потока. Мелкая фракция, подхваченная аэродинамическим потоком воздуха проходя через лопасти вращающегося ротора образует готовую фракцию, крупная при этом отсекается ротором и под действием силы тяжести поступает в разгрузочную камеру. Мелкая часть воздушным потоком выносится в центральную часть ротора, поднимается в воздушный коллектор и направляется к осадительным устройствам. Эффективность работы таких аппаратов составляет 50...65 %.

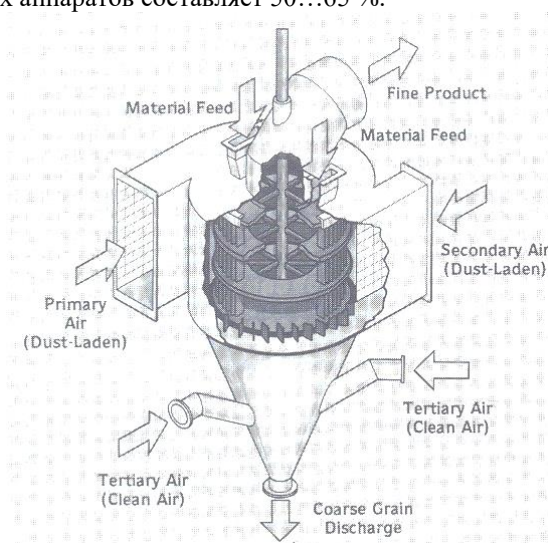


Рисунок 4. Динамический сепаратор третьего поколения

Рынок технологического оборудования воздушной классификации порошковых материалов развивается достаточно успешно, создавая высокоэффективные машины, удовлетворяющие строгим критериям и запросам производства. Возможность управления такими процессами формирует новые стандарты в качестве на производстве строительных материалов и изделий и сокращает издержки производства.

Библиографический список:

1. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учебник для строительных вузов и факультетов / М.Я. Сапожников. – М., В.Ш. – 1971. – 382с.
2. Ильевич, А.П. Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров. - 2-е изд., перераб. - Москва: Высш. школа, 1979 - 344с.
3. www.thecementgrindingoffice.com [Электронный ресурс]
4. <https://www.fips.ru> [Электронный ресурс]
5. <https://jcement.ru/reading/stages/pomol> [Электронный ресурс]
6. <https://ecofoor.com/chapter5> [Электронный ресурс]
7. <http://www.zavod-vcn.ru/product.php> [Электронный ресурс]

К РАЗВИТИЮ ПОДХОДОВ ВИБРОСТЕРЖНЕВОГО УПРОЧНЕНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Гуркина А.В., ассистент,

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.

*Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
“Белорусско- Российский университет”*

На сегодняшний день в большинстве стран применяется политика, направленная на использование возобновляемых и вторично применяемых ресурсов. Древесина является одним из таких материалов. Однако, применение ценной древесины не всегда оправдано, т.к. стоимость таких материалов достаточно высока. Применение малоценной древесины ограничено, прежде всего, низким качеством материала, например, твердостью, способностью к истиранию, способностью противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды.

Согласно теории прессования, сформулированной П. Н. Хухрянским, прочность любой древесины можно повысить за счет ее уплотнения с увеличением количества древесины в объеме, но без разрушения. Для повышения качества малоценных пород, возможно применять способ вибростержневого упрочнения модифицированной древесины. Данный способ относится к химико-механическим способам обработки древесины, которые на данный момент лидируют в области обработки древесины. [1]

Еще одним из способов является обработка древесины аммиаком или мочевиной с последующим уплотнением. Полученные материалы носят название лигамон и дестам. При пропитке древесины аммиаком с последующим прессованием и сушкой получают лигнамон, который применяется для изготовления деталей мебели, паркета, музыкальных инструментов. При пропитке мочевиной, прессованием и сушкой получают дестам, который применяется, в основном, для покрытия полов. Однако, следует заметить, что применение таких способов имеет ряд недостатков, например, дороговизна и энергозатратность. [2]

Упрочнение по вибростержневому методу происходит следующим образом. На предварительно подготовленную поверхность древесины наносится модифицирующий состав и сразу же проводится упрочнение стержнями. Качество поверхности на образцах одной породы может варьироваться в зависимости от геометрических параметров рабочего

органа, выбора средства для модификации поверхности, от угла приложения нагрузки.

Рабочий орган для упрочнения древесины может состоять из стержней различной формы (круг, квадрат, треугольник, ромб), различных диаметров. также можно говорить о расположении стержней непосредственно в рабочем органе. На рисунке 1 представлен рабочий орган, состоящий из стержней различных диаметров, расположенных в шахматном порядке. В качестве модифицирующего состава могут выступать антисептики, антипирены, лаки, воски, краски. Выбор модифицирующего состава определяется выходными свойствами поверхности древесины. Также можно говорить о выборе способа приложения нагрузки на поверхность. Так, стержни могут работать вертикально или под углом в $20^\circ - 45^\circ$. [3]

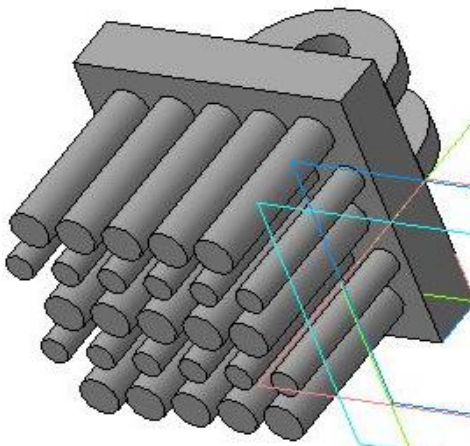


Рисунок 1. Модель рабочего органа со стержнями диаметрами 5 и 7 мм, расположенными в шахматном порядке.

Проведение экспериментальных исследований показывает, что образцы древесины сосны и ели показывают лучшие результаты по упрочнению поверхности, нежели образцы древесины других пород. Исследования проводились на образцах различных пород. Модифицирующим составом был выбран алкидный лак для древесины. Воздействия проводились одним стержнем по влажной поверхности. В зависимости от количества воздействий по одному месту изменялась твердость поверхности. В таблице 1 приведены основные показатели

проведения экспериментальных исследований по выбору породы древесины. [4]

Таблица 1

Результаты проведения экспериментальных исследований по выбору породы древесины.

		Порода древесины						
		Сосна	Ель	Липа	Ольха	Дуб	Береза	Вяз
Твердость после обработки								
Кол-во воздействий	20	1,72	1,57			3,54	2,93	3,42
	30	1,78	1,6					
	40	1,84	1,66	1,77	2,24	3,55	2,98	3,55
	50	1,88	1,74					
	60	1,93	1,78	1,78	2,36	3,58	3,05	3,69
	70							
	80			1,78	2,52	3,63	3,08	3,7
	100			1,78	2,68			
Твердость без покрытия и упрочнения		1,51	1,32	1,7	2,1	3,41	2,41	2,92
Прирост прочности		27,8%	34,9%	0,6%	27,6%	6,5%	27,8%	26,7%

На рисунке 2 отражены основные результаты по образцам древесины сосны и ели, после максимального количества воздействий и просушки.

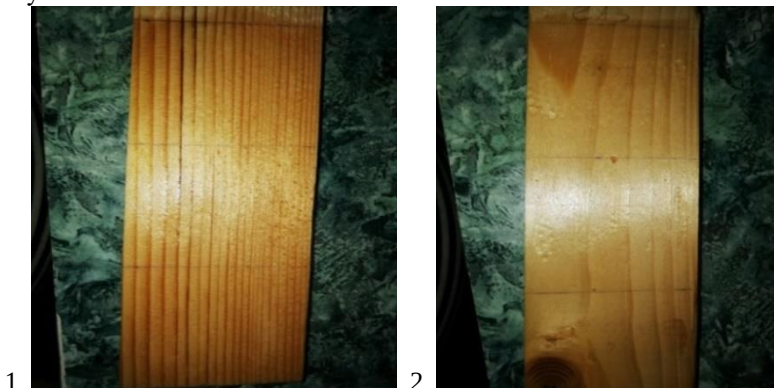


Рисунок 2 .Упрочненные образцы мягкой хвойной древесины:
1 – сосна, 2 – ель.

Следующий этап экспериментальных исследований заключался в определении оптимальных параметров влажности образцов. Для использования древесины характерны определенные интервалы влажности, составляющие 12 – 30%. В исследования брались образцы сосны влажностью 14% и 24%, воздействия проводилось многократно повторяющимися ударами по одному месту и давлением 0,5 МПа. Результаты исследований приведены на графике на рисунке 3.

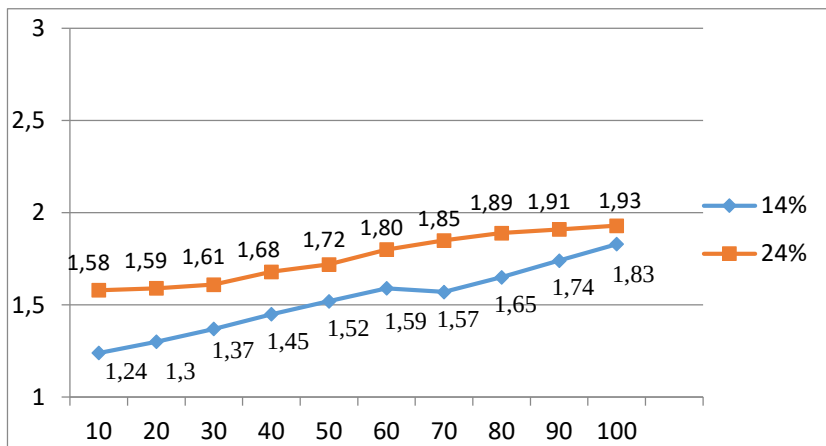


Рисунок 3. Зависимость изменения твердости поверхности древесины от количества воздействий

Как видно из графика приращение твердости поверхности для древесины влажностью 14% составляет 47,58% для древесины влажностью 24% – 22,1 %. При увеличении влажности до 30% упрочнение древесины становится невозможным, т.к. наступает предел гигроскопичности, при котором волокна древесины восстанавливают свою первоначальную форму. [5]

После выбора породы для упрочнения и ее влажности, возникла необходимость определить распространение напряжений в поверхности от действия нагрузки. Для этого в программе SolidWorks был смоделирован статический эксперимент, с материалами, соответствующим своими параметрами образцу древесины 15 % и воздействием стержнями различных диаметров и различных форм.

В таблице 2 приведены результаты теоретических исследований воздействия одного цилиндрического стержня на поверхность.

Таблица 2

Результаты статического эксперимента в программе SolidWorks.

№ п/п	Диаметр стержня, мм	Давление, Мпа	Максимальное напряжение, Па	Площадь распространения напряжений, мм ²
1	2	3	4	5
1	3	3,43	$7,87 \times 10^5$	11,15
2	3,5	2,52	$5,82 \times 10^5$	13,65
3	4	1,93	$4,45 \times 10^5$	18,47
4	4,5	1,53	$2,88 \times 10^5$	26,32
5	5	1,24	$2,67 \times 10^5$	30,86
6	5,5	1,02	$1,96 \times 10^5$	34,82
7	6	0,86	$1,75 \times 10^5$	47,51
8	6,5	0,73	$1,54 \times 10^5$	61,76
9	7	0,63	$1,14 \times 10^5$	62,46
10	7,5	0,55	$1,06 \times 10^5$	68,77
11	8	0,48	$9,03 \times 10^4$	76,78

При использовании стержней формы, отличной от цилиндрической (квадрат, ромб, треугольник), возникают концентраторы напряжений, что для получения ровной поверхности образца неприемлемо.

Для описания процесса, происходящего на поверхности древесины, рассмотрим рисунок 4, показывающий взаимодействие одного стержня с поверхностью.

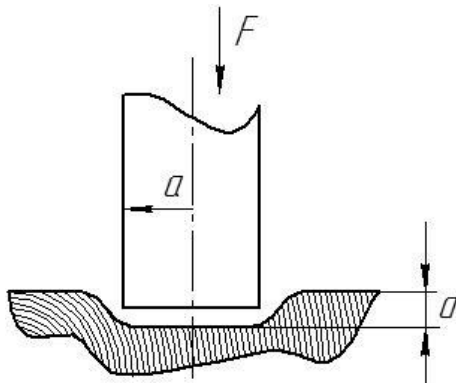


Рисунок 4. Схема взаимодействия между стержнем и поверхностью

При воздействии стержня на поверхность древесина деформируется. Таким образом, нормальное давление, действующее на поверхность в области, радиусом a , описывается формулой.[6]

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^n \quad (1)$$

При определении распределения давления по Герцу ($n = \frac{1}{2}$), можем определить вертикальное смещение по оси z стержня по формуле [7]

$$u_z = \frac{\pi \cdot p_0}{4 \cdot E \cdot a} (2 \cdot a^2 - r^2) \quad (2)$$

Полная сила воздействия определится как

$$F = \int_0^a p(r) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r dr = \frac{2}{3} \cdot p_0 \cdot \pi \cdot a^2 \quad (3)$$

Для дальнейшего проведения исследований необходимо перейти от статического к динамическому воздействию. Для этого проводились динамические испытания с единичным воздействием и статические испытания на натурном образце. Исходя из одинаковой степени упрочнения поверхности определяется коэффициент динамичности, равный 0,03.

Далее проводились экспериментальные исследования для образцов древесины сосны с динамическим стержневым воздействием. Данное исследование проводилось многократным воздействием одного стержня и единичным воздействием, до разрушения поверхности образца. Параметры исследования: сила взаимодействия – 4,55 Н, влажность образцов – 15%. Воздействие образцов проводилось без нанесения модифицирующего состава. В таблице 3 приведены основные результаты экспериментального исследования.

Исходя из вышесказанного, можно говорить о том, что оптимальным будет применение единичного воздействия и стержней круглой формы, диаметром 5 – 6 мм.

Вибростержневое упрочнение можно применять непосредственно на деревообрабатывающих предприятиях или же на уже эксплуатируемых конструкциях. В качестве применения на предприятии возможно применение станка (рисунок 5), который представляет собой модульную конструкцию, состоящую из смонтированных на раме 2

подающего механизма 3, рольгангов 4, устройств 5 и 6 соответственно для нанесения модифицирующего состава и вибростержневого упрочнения и стола 7 готовой продукции. Принцип работы станка заключается в том, что деревянное изделие (заготовка), перемещаемое с помощью подающего механизма 3 по рольгангам 4 подвергается технологической обработке, которая заключается в нанесении модифицирующего состава с помощью устройства 5 и вибростержневой обработке устройства 6. Процесс обработки осуществляется непрерывно. Обработанные изделия подаются на стол 7 готовой продукции и далее на склад.

Таблица 3

Результаты проведения исследований для определения максимальной деформации при единичном и многократном воздействии

	Диаметр стержня, мм	Макс. деформ., мм	Кол-во возд-вий	Деформ. при единичном возд-вии, мм
1	3,5	1	1	1
2	4	1	1	1
3	5	0,9	2	0,7
4	5,5	0,8	3	0,6
5	6	0,8	10	0,4
6	6,5	0,8	10	0,3
7	7	0,8	13	0,1
8	8	0,8	16	0,1

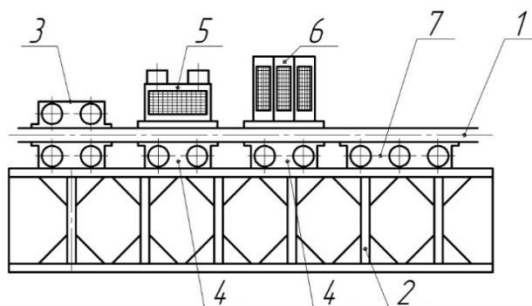


Рисунок 5. Структурная схема станка для упрочнения и модификации поверхностей деревянных конструкций.

В качестве оборудования для обработки уже эксплуатируемых материалов может применяться оборудование на базе перфоратора или на базе вибротрамбовки.

Дальнейшее исследование процесса вибростержневой обработки и модифицирования поверхностей деревянных конструкций будет направлено в первую очередь на исследование процессов, происходящих в поверхности древесины, а также на создание оборудования для проведения упрочнения древесины и определение качества поверхности.

Библиографический список:

1. Хухрянский, П. Н. Прессование древесины. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная пром-сть, 1964 – 351 с.
2. Кухарев, В. А. Механохимически модифицированная древесина в строительстве / Стройка, 2009, №35.
3. Патент на изобретение №21657 РБ, МКИ В 44С 1/24 Способ модифицирования и упрочнения поверхности деревянной конструкции / Л. А. Сиваченко, Т. Л. Сиваченко, А. В. Гуркина - № а 20140685; заявл. 05.12.2014; опубл. 23.11.2017. – 5 с.
4. Гуркина, А. В. Результаты экспериментов по вибростержневому упрочнению деревянных поверхностей // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. научно – техн. конф. / М – во образования Респ. Беларусь, М – во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус. – Рос. ун – т, 2019. – с. 182 – 184.
5. Хошев, Ю. М. Дачные бани и печи. Принципы конструирования, 2008
6. Джонсон, К. Л. Механика контактного взаимодействия: пер. с англ. – М.:Мир, 1989
7. Ландау, Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости: учеб. Пособие. 4 – е изд., испр. и до. – М.: Наука, 1987 – 248 с.

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 100 ТОНН

Дмитриенко В.Г., канд. техн. наук, доц.,

Шеметов Е.Г., аспирант,

Андроник Н.Н., студент,

Ратушный Н.Г., студент

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

В Российской Федерации открытым способом разрабатывают более чем 75% угля [1], 91% железных руд и более 70% руд цветных металлов [2] в карьерах которых для перемещения горной породы применяются карьерные самосвалы (КС) БелАЗ (Беларусь), Caterpillar (США), Komatsu и **Hitachi** (Япония), которые характеризуется мобильностью, автономностью, манёвренностью, возможностью выбора грузоподъемности для наиболее эффективной работы в связке с выемочно-погрузочными машинами и низкими затратами на строительство и эксплуатацию дорог. В данной статье рассмотрены конструкции КС грузоподъемностью до 100 т. Для обзора и сравнения конструкции КС различных фирм производителей рассмотрены стандартные технические характеристики **БЕЛАЗ-75581** и его модификации, Caterpillar - 777D, Komatsu HD785-7 и **Hitachi EH1700**.

Карьерный самосвал Белорусского автомобильного завода в категории грузоподъемности до 100 т представлен моделями **БЕЛАЗ-75581** (рис.1), **БЕЛАЗ-75583** и **БЕЛАЗ-75585** [3].

БЕЛАЗ-7558 представляют собой двухосные технологические машины грузоподъемностью 90 т с жесткой литосварной рамой и кузовом с задней разгрузкой, колесной формулой 4x2, передними управляемыми и задними ведущими колесами. Его модификация БЕЛАЗ-75581 в северном исполнении позволяет эксплуатировать машину в температурном режиме от -50°C до +40°C, включая Крайний Север благодаря предпусковому подогревателю, который производит подогрев дизельного топлива и охлаждающей жидкости при запуске двигателя, боковое капотирование для теплоизоляции двигателя, утеплитель капота, кабину с дополнительным отопителем и стеклопакетами. На моделях БЕЛАЗ-75581 и БЕЛАЗ-75585 установлен дизельный 4-тактный двигатель QST 30-С фирмы Cummins с V-образным расположением цилиндров, непосредственным впрыском топлива, газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением

наддувочного воздуха мощностью 783 кВт (1 065 л. с.) при 1 900 об/мин и электромеханическая трансмиссия переменного-переменного тока,

а)



б)

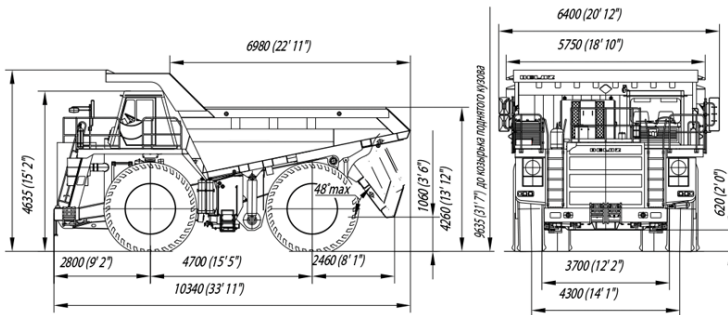


Рис. 1. БелАЗ-75581:

а) Фотография самосвала; б) Схема с габаритными размерами.

Наибольшую эффективность он достигает при эксплуатации с экскаваторами или погрузчиками с ковшами ёмкостью 12,5-18 м³. Дизельные двигатели с электронным управлением и центральной отключаемой крыльчаткой системы охлаждения обеспечивают оптимальную удельную мощность, высокую скорость самосвала на подъеме, а также высокую топливную экономичность. Технические характеристики описанных моделей БелАЗов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Технические характеристики карьерных самосвалов БелАЗ

Параметр	Марка КС	БЕЛАЗ-75581	БЕЛАЗ-75583	БЕЛАЗ-75585
Грузоподъемность, т		90		
Модель двигателя		QST 30-C	КТА 38-C	QST 30-C
Номинальная мощность двигателя, кВт (л. С.) при 1900 об/мин		783 (1 065)		
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт*ч		202		
Тип тягового генератора		ГСТ 700-8		СГТ 700-8
Тип тягового двигателя		ТАД-9		ТАД-320
Вместимость кузова, куб. м: — геометрическая — с «шапкой» 2:1		37,7 / 44,5 / 75,0 53,3 / 60,0 / 93,0		
Размерность шин		27.00R49; 31/90-49		
Радиус поворота, м		11		
Масса эксплуатационная, кг		74 000 (комплектация без дополнительных систем)		
Масса полная, кг		164 000		
Максимальная скорость, км/ч		60		

Карьерный самосвал Caterpillar (США) в категории грузоподъемности до 100 т представлен моделью **Caterpillar - 777D** (рис. 2) [4], который *разработан специально для горнорудной промышленности, оборудован* двигателем 3508В EUI, оснащен семиступенчатой коробкой передач, переключаемой под нагрузкой, характеристики которой полностью согласованы с характеристиками дизельного двигателя 3508В с электронным регулированием впрыска топлива.

а)



б)

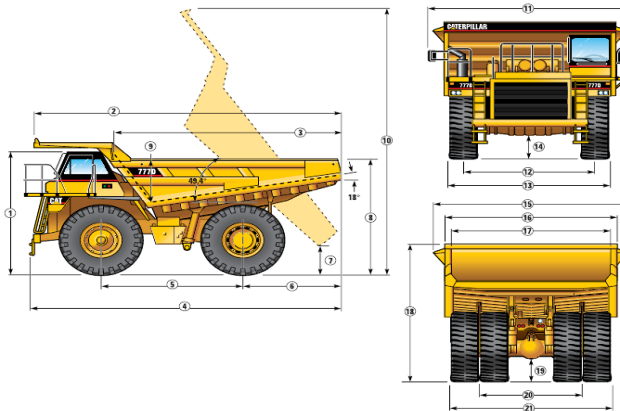


Рис. 2. Caterpillar - 777D:

а) Фотография самосвала; б) Схема с габаритными размерами.

Коробка передач обеспечивает постоянный уровень передаваемой на колеса мощности в широком диапазоне скоростей движения машины. Управление двигателем, коробкой передач и тормозной системой осуществляется электронными блоками связанными каналом передач данных Data Link компании Caterpillar, которая позволяет накопленные диагностические данные загрузить в компьютер с программой «Электронный техник», что дает возможность быстро провести поиск неисправности и резко снизить время простоев.

а)



б)

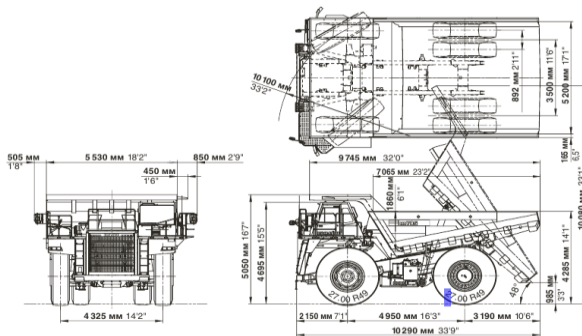


Рис. 3. Komatsu HD785-7:

а) Фотография самосвала; б) Схема с габаритными размерами.

Карьерный самосвал Komatsu (Япония) в категории грузоподъемности до 100 тонн представлен моделью **Komatsu HD785-7** (рис. 3) [5], который представляет из себя двухосный жесткорамный самосвал с гидромеханической трансмиссией, задними ведущими колесами, передней подвеской McPherson и V-образным кузовом с задней разгрузкой, предназначенный для эксплуатации на поддерживаемых внутрикарьерных дорогах с максимальным уклоном до 35% и температурным режимом в диапазоне от -40°C до $+30^{\circ}\text{C}$. Самосвал оборудован двигателем Komatsu SAA12V140E-3 с полезной

мощностью 879 кВт (1178 л.с.). Особенностью Komatsu HD785-7 является присутствие повышенной и пониженной передач заднего хода, автоматической регулировкой оптимальной мощности (VHPC), позволяющей осуществлять выбор «экономичного режима» или «режима повышенной мощности» и системы автоматического контроля скорости спуска (ARSC). Так же он снабжен четырьмя маслоохлаждаемыми многодисковыми тормозами-замедлителями (AP-FOUR) мощностью 1092 кВт (1464 л. с.) с системой плавного торможения. Самосвал рекомендуется использовать в комплексе с погрузочными машинами, имеющими ковш объемом от 7 м³ до 22 м³ такими как экскаватор Komatsu PC2000 или погрузчики Komatsu WA700-WA800-WA900.

а)



б)

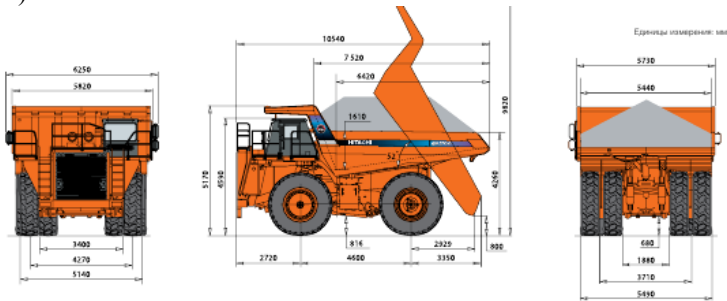


Рис. 4. HitachiEN1700:

а) Фотография самосвала; б) Схема с габаритными размерами.

Карьерный самосвал **Hitachi** (Япония) в категории грузоподъемности до 100 тонн представлен моделью **HitachiEN1700** (рис. 4) [6], оснащенный двигателем MTU Detroit Series 2000 мощностью

783 кВт (1050 л.с.), который характеризуется большим ресурсом, оптимальными эксплуатационными характеристиками и высокой надежностью.

Самосвалы модели EH1700 обеспечивают малую продолжительность рабочих циклов и повышенную эффективность транспортных операций при эксплуатации в тяжелых условиях на предприятиях горнодобывающей отрасли.

Повышенную износостойкость кузова самосвала EH1700 достигают листами днища и боковых стенок из высокопрочной стали с твердостью 400 HB.

Технические характеристики описанных моделей карьерных самосвалов Caterpillar - 777D, Komatsu HD785-7 и Hitachi EH1700 представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Технические характеристики карьерных самосвалов
Caterpillar - 777D, Komatsu HD785-7 и Hitachi EH1700**

Марка КС Параметр	Caterpillar - 777D	Komatsu HD785- 7	Hitachi EH1700
Номинальная нагрузка (т)	91	91	98,4
Объем кузова (м³)	42	40	38,6
Габаритная ширина (мм)	6100	5660	6050
Габаритная длина (мм)	9780	10290	10290
Габаритная высота (мм)	5000	5050	5310
Высота погрузки (мм)	4250	4285	4290
Колесная база (мм)	4570	4950	4570
Дорожный просвет (мм)	700	985	860
Двигатель (модель)	3508A	SAA12D140E-3	QSK 30
Цилиндров/объем л (кол-во/л)	12/34,5	12/30,28	/30,5
Мощность двигателя (кВт/л.с.)	746	895/1200	896
Скорость движения макс. (км/ч)	60	65	61,6
Снаряженная масса машины (кг)	70306	72000	97700
Вместимость топливного бака (л)	1137	1308	1000
Давление на грунт макс. (кПа)	-	-	-

Анализ конструктивных особенностей и ключевых характеристик вышепересмотренных карьерных самосвалов показывает, что каждая из моделей может найти применение в различных горно-геологических условиях предприятий России, ведущих открытый способ разработки горных пород, но на первое место в выборе техники выходит стоимость самосвала, его обслуживания и безотказной работы.

Библиографический список:

1. Разработка угольных шахт и бассейнов [сайт]. – URL: <https://promtu.ru/dobyicha-resursov/razrabotka-ugolnyih-basseynov> (дата обращения: 30.10.2020).
2. Коробов Д.В., Дмитриенко В.Г. Анализ эксплуатации автосамосвалов машин грузоподъемностью свыше ста тонн на разрезах и карьерах России / Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Посвящена 165-летию В.Г. Шухова. Белгород, 2018. С. 2159-2161.
3. БелАЗ-7558. Технические характеристики [сайт]. – URL <http://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-electromechanical-transmission/dump-truck-series-7558/> (дата обращения: 30.10.2020).
4. Caterpillar - 777D технические характеристики [сайт]. – URL <http://www.mining-portal.ru/catalog/karerniy-samosval/cat/777d/> (дата обращения: 30.10.2020).
5. Komatsu HD785-7 технические характеристики [сайт]. – URL <http://www.mining-portal.ru/catalog/karerniy-samosval/komatsu/hd-785-7/> (дата обращения: 30.10.2020).
6. Hitachi EH1700 технические характеристики [сайт]. – URL <http://www.mining-portal.ru/catalog/karerniy-samosval/hitachi/eh-1700/> (дата обращения: 30.10.2020).

СИМУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ МАТЕРИАЛА ЛОПАСТНЫМ СМЕСИТЕЛЕМ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ EDEM

Кикин Н.О., аспирант,

Ханина Е.Г., аспирант

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

В настоящее время для уменьшения средств и времени, затрачиваемых на создание прототипов оборудования для производства строительных материалов, применяется современное программное обеспечение, позволяющее моделировать различные процессы, протекающие в технологических машинах. Одним из таких программных продуктов является разработка компании DEM Solutions Ltd - «EDEM» [1, 2].

EDEM позволяет провести симуляцию различных технологических процессов, таких как измельчение, классификация, смешивание, транспортировка и т.п. При этом используется метод дискретного элемента (Discrete element method), который рассчитывает движение большого количества гранулированных частиц различной крупности [3, 4, 6].

Рассмотрим последовательность действий для симуляции в программной среде EDEM процесса смешивания двух компонентов в лопастном смесителе с горизонтальным расположением вала.

Рабочее окно программы EDEM представлено на рисунке 1. Оно состоит из трех частей. Первая часть (I) – это лента команд программы. На ней расположены три основные вкладки: 1 – вкладка «Creator» (Создать), которая позволяет создать и настроить необходимые параметры процесса симуляции; 2 – вкладка «Simulation» (Симуляция), позволяющая изменить параметры самого процесса симуляции; 3 – вкладка «Analyst» (Анализ), на которой можно получить результаты виртуального эксперимента. При переходе с одной вкладки на другую, изменяется опциональная панель – часть II. Она служит для создания и настройки модели самого процесса симуляции, а также для анализа результатов. В части III рабочего окна отображена исследуемая модель оборудования и применяемый материал для процесса симуляции. Используя это окно, можно приближать или удалять рассматриваемую модель, запускать видео процесса симуляции, а также визуализировать симуляцию исследуемого процесса.

В первую очередь необходимо задать начальные условия для симуляции процесса смешивания компонентов. Для этого необходимо активировать вкладку «Creator» (Создать) 1 в части I и перейти на опциональную панель (часть II), чтобы ввести исходные данные для симуляции.

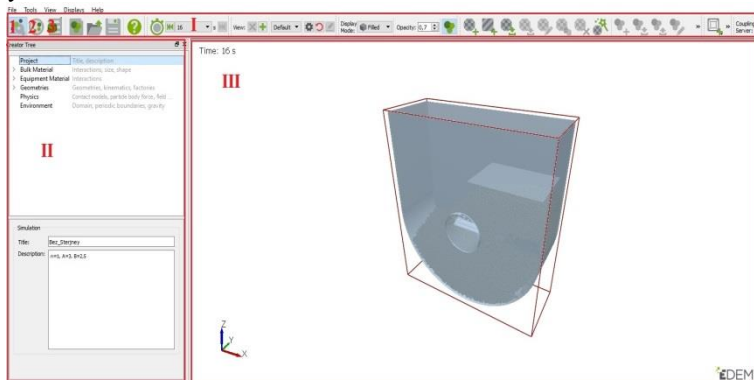


Рисунок 1. Рабочее окно программы EDEM

I – лента команд; II – опциональная панель; III – рабочее окно исследуемой модели

1 – вкладка «Simulation» (Симуляция); 2 – вкладка «Simulation» (Симуляция);
3 – «Analyst» (Анализ)

В строке «Project» (Проект) следует ввести название проекта и краткое его описание. В следующей строке «Bulk material» (Исходные материалы) необходимо создать материалы, которые будут использоваться в процессе симуляции. Для этого необходимо нажать правую кнопку мыши (ПКМ) на этой строке и выбрать «Add bulk material» (Добавить исходный материал), если необходимо создать материал заново. Если материал был уже когда-то создан в программе, и он был сохранен на ПК, то можно просто загрузить его, используя команду «Import material» (Импортировать материал).

После создания нового материала необходимо ввести его название и основные свойства. Далее следует кликнуть ПКМ на созданном материале, и выбрать команду «Add Particle» (Добавить частицу) (рис. 2, б), чтобы добавить тип и форму частиц.

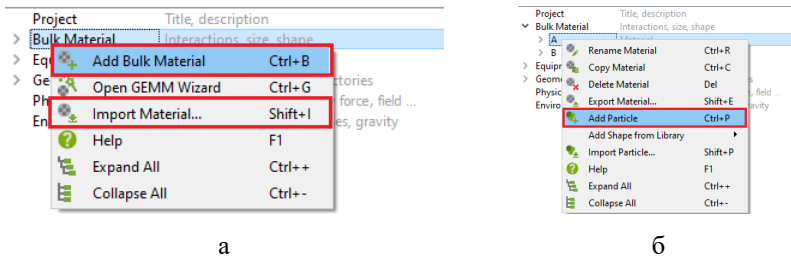


Рисунок 2. Меню «Bulk Material» (Исходные материалы):
 а – команды «Add bulk material» (Добавить исходный материал) и «Import material» (Импортировать материал); б – команда «Add Particle» (Добавить частицу)

С помощью команды «Modify Shape» (Изменить форму) можно изменить форму частицы, а также выбрать ее размер и кликнуть команду «Calculate Properties» (Рассчитать свойства) (рис. 3), чтобы программа автоматически рассчитала массу частицы, ее объем и моменты инерции в декартовой системе координат.

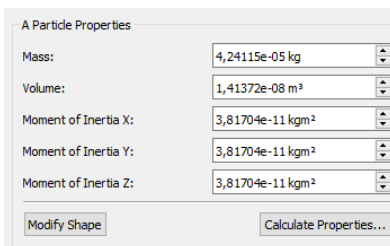


Рисунок 3. Меню «Modify Shape» (Изменить форму) и «Calculate Properties» (Рассчитать свойства)

Во вкладке «Equipment Material» (Материал оборудования) следует задать материал и его свойства для самой конструкции или её части. Чтобы добавить или импортировать материал необходимо выполнить команды аналогично созданию исходных компонентов смеси. В данном случае модель будет состоять из корпуса и ротора. Так как они будут взаимодействовать с частицами, то для этих сборочных единиц необходимо выбрать материал «Steel» (Сталь) и задать параметры характерные для углеродистой стали.

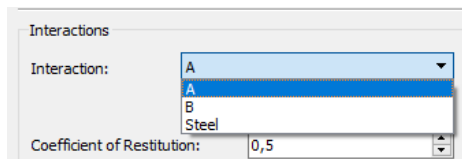


Рисунок 4. Команда «Interaction» (Взаимодействие) в свойствах материала

Важный шаг для корректного создания симуляции процесса смешивания – установить вид взаимодействия для частиц созданного материала и частей оборудования. Для этого необходимо выбрать каждый из созданных материалов, найти раздел «Interaction» (Взаимодействие), и в раскрывшемся окне выбрать каждый компонент (включая выделенный), чтобы частицы взаимодействовали между собой, а также с геометрией модели смесителя (рис. 4).

На вкладке «Geometries» (Геометрия) можно создать геометрические формы исследуемого оборудования, используя команды «Box» (Куб), «Cylinder» (Цилиндр), «Polygon» (Многогранник) с помощью опции «Add Geometry» (Добавить геометрию), либо импортировать заранее созданную модель оборудования. EDEM позволяет использовать модель оборудования, созданную в формате STEP. Для того, чтобы загрузить созданную модель следует через ПКМ выбрать команду «Import geometry» (Импортировать геометрию) (рис. 5). Необходимо помнить, что начало координат в модели EDEM будет совпадать с началом координат модели в формате STEP. После загрузки следует настроить единицы измерений, качество модели. Модели, в которых существуют ошибки, могут быть не импортированы в EDEM.

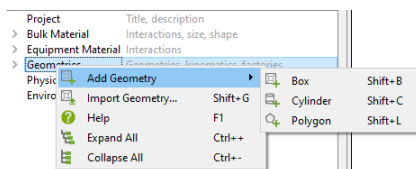


Рисунок 5. Команды «Add Geometry» (Добавить геометрию) и "Import geometry" (Импортировать геометрию)

Модель однофазного смесителя для проведения эксперимента в рассматриваемом случае была создана в программной среде Компас 3D и сохранена в формате STEP. После загрузки CAD модели, очень часто

EDEM разбивает сборки на отдельные детали и зачастую приходится объединять большое количество элементов вокруг одной детали. В нашем случае так происходит с лопастным валом. Вал загружается в EDEM в виде непосредственно самого вала, лопатки и стержня лопатки. Поэтому необходимо выбрать деталь вала нажатием ПКМ, выбрать команду «Merge Geometry» (Объединить геометрию) (рис. 6, а) и, в появившемся окне, выбрать все детали, относящиеся к валу - лопатки и стержни. Нажав «Ок», получаем сформировавшийся ротор.

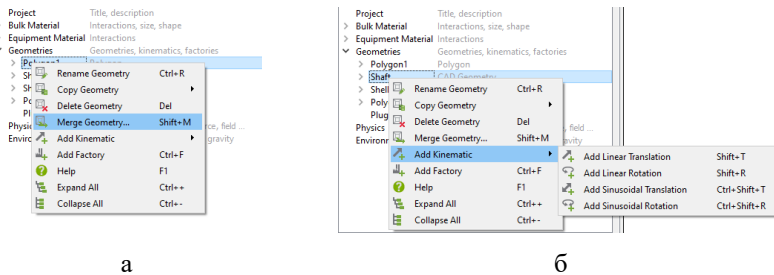


Рисунок 6. Меню «Geometries» (Геометрия):

а – команда "Merge Geometry" (Объединить геометрию); б – команда «Add Kinematic» (Добавить движение)

Чтобы задать вращение ротору, необходимо воспользоваться командой «Add Kinematic» (Добавить движение). Для этого необходимо сделать клик ПКМ на роторе в дереве построения модели и воспользоваться данной командой (рис.6, б). После этого настроить параметры вращения ротора: время начала и завершения вращения, угловую скорость, ускорение. Также необходимо задать координаты оси, вокруг которой будет осуществляться вращение.

Для загрузки исходных компонентов необходимо добавить геометрические объекты, называемые полигонами. Добавить их можно двумя способами. Первый способ – создать их с помощью самой программы. Для этого необходимо воспользоваться командами «Add geometry» (Добавить геометрию) - «Polygon» (Многогранник) (рис. 5). Необходимо настроить размеры и положения этого элемента в модели. Главным критерием для полигона во вкладке «General» (Основное) является его тип. Необходимо изменить типа на «Virtual» (Виртуальный), что позволяет не учитывать этот объект в модели как физическое тело (рис 7, б). Второй способ является более точным –

создать полигоны в 3D модели смесителя и загрузить модель в формате STEP. После этого найти в дереве модели созданные полигоны и изменить их тип, как было описано выше.

После того, как полигоны были созданы одним из двух описанных методов, необходимо настроить загрузку созданного ранее материала в виде компонентов для смешивания. Для этого необходимо выбрать нужный полигон, щелкнуть ПКМ и воспользоваться командой «Add Factory» (Добавить фактор). После этого появится настройка загрузки материалов для симуляции процесса смешивания. В появившемся окне необходимо настроить способ загрузки материалов – массовый или количественный (по количеству частиц), время начала загрузки материалов, какой из компонентов будет загружаться через этот полигон, а также положение частиц, их скорости и ускорения. После того, как все исходные компоненты будут распределены среди полигонов, следует переходить к началу симуляции.

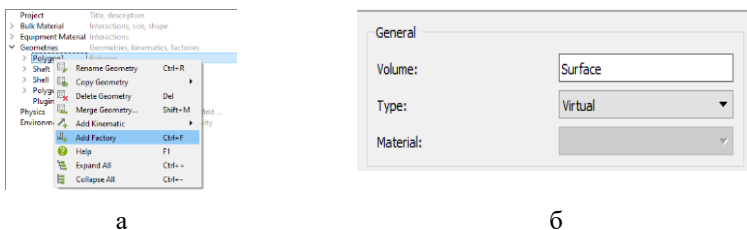


Рисунок 7. Меню «Geometries» (Геометрия):

а – команда «Add Factory» (Добавить фактор); б – команда изменения типа геометрии

После завершения работы во вкладке «Creator» (Создать) и перехода на панель «Simulation» (Симуляция) программа EDEM предложит сохранить файл симуляции. Желательно при сохранении не использовать в названии файла и в пути его расположения кириллицу.

Для настройки симуляции процесса смешивания необходимо настроить временной шаг симуляции. Для этого следует снять «галочку» с автоматического временного шага и выставить «Fixed Time Step» (Временной шаг) на 20-30%.

Необходимо указать продолжительность симуляции процесса смешивания и шаг автосохранения результатов. Чем меньше будет шаг автосохранения, тем больше будет места занимать симуляция на жестком диске компьютера.

Важный параметр, отвечающий за скорость процесса симуляции, является размер сетки симуляции. Чем меньше размер сетки, тем выше точность результата симуляции, но тем медленнее протекает сам процесс. Поэтому в качестве рекомендации, при выборе размера сетки, следует отметить целесообразность придерживаться размера радиуса наименьшей частицы из смешиваемых компонентов.

После настройки процесса необходимо нажать кнопку «Start Simulation» (Старт симуляции), которая расположена под рабочим окном исследуемой модели. Симуляция процесса смешивания начнется, если все предварительные настройки были верны.

После завершения симуляции процесса смешивания компонентов для отображения и анализа результатов необходимо перейти на вкладку 3 «Analyst» (Анализ).

В части II откроется меню, позволяющее анализировать результаты процесса. Во вкладке «Display» (Экран) можно выбрать и настроить отображение частиц смешиваемого материала, а также элементов геометрии. Частицы можно представить в виде векторов, характеризующих направления движения частиц смешиваемого материала в смесителе.

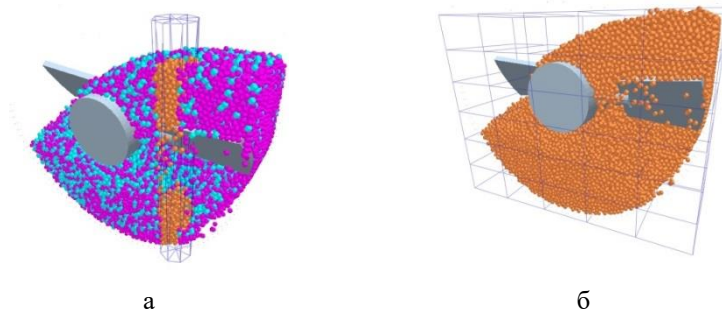


Рисунок 8. Способы отбора проб в программе EDEM:

а – команда «Geometry Bin» (Геометрическая ячейка); б – команда «Grid Bin Group» (Сетка)

При определении качественных показателей симуляции процесса смешивания с помощью программного продукта EDEM, важным этапом в проведении эксперимента является извлечение и анализ полученных результатов.

Для этого можно использовать различные способы. Например, первый способ – создать точечную выборку значений результатов симуляции. Для этого следует перейти в меню «Setup Selection»

(Настройка выбора), нажать ПКМ, выбрать команду «Add selection» (Добавить выборку) и воспользоваться командой «Geometry Bin» (Геометрическая ячейка) (рис. 8, а). В настройках следует выбрать исковую единицу измерения, например, массу частиц определенного компонента, его объем или количество частиц. EDEM автоматически посчитает требуемый параметр, который необходимо использовать для определения коэффициента неоднородности согласно общеизвестным методикам [5].

Однако такой способ не дает достаточно точной информации о качестве смешивания. Лучше воспользоваться разбивкой смесителя на объемные ячейки. Это позволит определить качественную характеристику всего смешиваемого объема (рис. 8, б). Для этого вместо команды «Geometry Bin» (Геометрическая ячейка) необходимо выбрать команду «Grid Bin Group» (Сетка). Объем смесителя разбивается на равные ячейки, причем пользователь имеет возможность настраивать размеры и положение этих ячеек. В каждой ячейке, аналогично точечному отбору проб, можно выбрать исковую единицу измерения. После этого следует определить качественную характеристику полученной в результате симуляции смеси, например, по коэффициенту неоднородности.

Рассмотренные возможности симуляции процесса смешивания и анализа результатов в автоматизированном программном комплексе EDEM вполне приемлемы для совершенствования существующих и исследований новых моделей смесителей принудительного действия с горизонтальным расположением валов.

Библиографический список:

1. EDEM Help Manual // Электронное пособие для работы с программным продуктом EDEM.
2. J. Yang, C.-Y. Wu, M.J. Adams DEM analysis of particle adhesion during powder mixing for dry powder inhaler formulation development // Computational Particle Mechanics: Springer Berlin Heidelberg, 2016. P. 477–504.
3. Богданов В.С., Хахалев П.А. Методика проектирования энергообменных футеровок ШБМ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2014. С. 67-72.
4. Ельцов М.Ю., Хахалев П.А., Харин Н.П. Исследование режимов работы шбм с различными внутрибарабанными устройствами в по EDEM // Наукоемкие технологии и инновации: электронный сборник

научных докладов Международной научно-практической конференции. Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2016. С. 69 - 72.

5. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров – М.: Машиностроение, 1973. – с. 216.

6. Ханин С.И., Зыбин Р.В., Мордовская О.С. Повышение эффективности процесса классификации материала в классифицирующей перегородке шаровой мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2020. С. 97-107.

ВАКУУМ-ПРЕССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,

Кравченко В.М., магистрант,

Гавшин А.П., магистрант,

Анискович Д.А., магистрант

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

На сегодняшний день в Белгородской области активно ведется жилищно-коммунальное строительство. Вследствие этого в регионе активно возводятся заводы по производству керамического кирпича. Основным оборудованием на новых современных заводах в технологической линии для производства красного керамического кирпича, как правило, используется экструдер или ленточный вакуум-пресс (рис.1).

Керамический красный кирпич представляет собой строительный материал, который изготавливают из красной глины методом формовки и обжига. В Белгородской области активно используют керамический кирпич для постройки зданий и сооружений, значительно большее количество керамического кирпича используется для постройки загородных домов, коттеджей и жилых секторов. В настоящее время на территории Белгородской области расположено 20 кирпичных заводов, а за счет большого спроса на керамический кирпич, в области возводятся новые.

Существует многообразие видов керамического кирпича: рядовой, облицовочный, клинкерный, огнеупорный. По ГОСТ [530-2012] они классифицируются на следующие разновидности: полуторный (250×120×88 мм); двойной (250×120×140 мм); еврокирпич (250×85×65 мм); модульный (288×138×65 мм); неполномерный (длина составляет 60, 120 или 180 мм); фасонный (бывает различных конфигураций, применяется для изготовления арок, столбов и прочих декоративных конструкций).

Керамический кирпич благодаря своим эксплуатационным характеристикам широко применяется на любом этапе строительства: возведение фундаментов, стен, дымоходов, лифтовых шахт жилых домов, промышленных помещений и офисов [2]. Используется он и для кладки каминов и печей, особенно тех мест, которые напрямую соприкасаются с огнем. Преимущества керамического кирпича перед некоторыми строительными материалами: экологичность, прочность,

долговечность, высокая звукоизоляция, огнестойкость, низкое влагопоглощение и т.д. .

Основным оборудованием в технологической линии на новых современных заводах, как правило, является комбинированный ленточный вакуум-пресс.

Вакуум-прессы рассчитаны на выпуск плотной массы влажностью 18—19%, тогда как на простых прессах изготавливают изделия из массы влажностью в среднем 22— 24% (абсолютная влажность) [3].

Вакуум-прессы бывают как комбинированного типа, когда пресс представляет одно целое с мешалкой, так и некомбинированные (без мешалки). В комбинированном шнековом прессе осуществляются следующие операции: перемешивание глиняной массы, увлажнение ее водой или паром, вакуумирование и формование изделий. Некомбинированные вакуум-прессы служат только для вакуумирования массы и формования изделий.

Шнековый вал у пресса иногда выполняют из двух частей, соединенных зубчатой муфтой. Это облегчает сборку пресса и его ремонт (смену прессующего шнека). Для предохранения корпуса от износа в его нижней части монтируется рубашка с продольными пазами, предотвращающими вращение массы. Применение расширяющихся головок позволяет формировать на этих прессах (как и на других) крупные блоки.

Пресс СМ-142 является наиболее крупным из всех отечественных вакуумных прессов и предназначается для заводов большой мощности.

Размеры прессующего шнека позволяют формировать крупные пустотелые керамические камни.

Прессы СМ-142 и СМ-446 по конструкции аналогичны прессу СМ-443. Отличие модели СМ-142 от модели СМ-443 заключается в конструкции шнека и рубашки корпуса, имеющих не ступенчатую, а цилиндрическую форму. Корпус пресса состоит из двух частей, соединенных болтами. Шнек и рубашка корпуса имеют цилиндрическую форму, а глиномешалка пресса снабжена устройством чешуйчатого типа для пароувлажнения.

Комбинированный вакуум-пресс (рис.1) представляет собой агрегат, смонтированный на раме из двутавровых балок и состоящий из шнековой одновальной мешалки, вакуум-камеры с режущим механизмом винтового пресса [1]. Состоит из следующих основных узлов: систем передач 1 и 2, смесителя 3, вакуум-камеры 5, нагнетательного вала, цилиндрического корпуса 7, шнекового вала 6,

приводного вала 10. Смеситель 3 соединен с вакуум-камерой 5 и состоит из вала, на котором насажены лопасти, переходящие в конусной части в шнек 4.

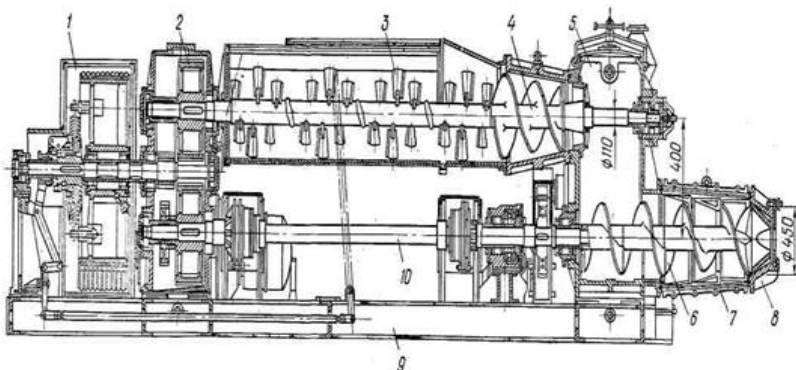


Рисунок 1. Общий вид комбинированного ленточного вакуумного пресса:

- 1, 2 - система передач; 3 - смеситель; 4 - шнек; 5 - вакуум-камера;
6 - шнек; 7 - цилиндр; 8 - мундштучная плита; 9 - станина;
10 - переходной вал

Вакуум-камера 5 герметически примыкает к конусной части смесителя и корпусу. Она снабжена герметически закрывающейся крышкой, на которой крепят манометр. В крышке устроено окно для наблюдения за уровнем загруженной массы в вакуум-камере. Внутри вакуум-камеры сбоку расположен нагнетательный валок. Цилиндрический корпус герметично соединен с вакуум-камерой и имеет стальную рубашку с продольными ребрами. К цилиндрическому корпусу приставлена переходная головка 8 с мундштучной плитой. Пресс расположен на сварной станине 9.

Зазор между наружной кромкой лопасти и внутренней поверхностью корпуса составляет 2-3 мм; конусность мундштука 4-8%; длина мундштука 100—250 мм.

Вакуум-насосы для ленточных комбинированных вакуум-прессов служат для отсоса воздуха из прессуемой массы.

Библиографический список:

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: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 680 с.

2. Лозовая С.Ю., Уваров В.А. Моделирование движения загрузки в смесительных устройствах с изменяемыми рабочими камерами // сб. докладов: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения). 2010. С. 153-157.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВАКУУМНОГО ЛЕНТОЧНОГО ПРЕССА СМ-443

Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,

Кравченко В.М., магистрант,

Рысков М.С., магистрант,

Гавшин А.П., магистрант,

Анискович Д.А., магистрант

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

Современную промышленность нельзя представить без такого строительного изделия, как кирпич. В Белгородской области активно используется строительство кирпичных зданий и сооружений. Вследствие этого в регионе возводятся заводы по производству различных видов кирпичей.

Существует многообразие видов и классификаций кирпичей. Керамический кирпич наиболее распространенный строительный материал. Благодаря своим эксплуатационным характеристикам, керамический кирпич широко применяется на любом этапе строительства: возведение фундаментов, стен, дымоходов, лифтовых шахт жилых домов, промышленных помещений и офисов. Используется он и для кладки каминов и печей, особенно тех мест, которые напрямую соприкасаются с огнем. Преимущества керамического кирпича перед некоторыми строительными материалами: экологичность, прочность, долговечность, высокая звукоизоляция, огнестойкость, низкое влагопоглощение и т.д. [4].

Основным агрегатом в технической линии изготовления на современных заводах, как правило, является комбинированные прессы или комбинированные вакуумные прессы с лопостной мешалкой [8].

Для изготовления обыкновенного глиняного кирпича наиболее пригодны легкоплавкие глины средней и умеренной пластичности [3]. Готовая формовочная масса забирается из смесителя 5 (рис. 1) с помощью подающего шнека 6 (рис. 1) и перемещается в вакуум-камеру 7 (рис. 1). Перед подачей в вакуум-камеру глиняная масса уплотняется в конусной части смесителя, заполняет его выходную часть, проходит через кольцевое отверстие и разрезается ножами на слои небольшой толщины (10—15 мм). В вакуум-камере происходит дезаэрация (удаление воздуха) массы, которая с помощью питающего валька подается на винтовой шнек прессы 8 (рис. 1), проходит по его корпусу и выталкивается через прессовую головку 10 (рис. 1) и мундштук. При

формовании обыкновенного кирпича мундштук имеет прямоугольное сечение, а при изготовлении пустотелых камней в мундштуке пресса устанавливают пустообразующий сердечник, состоящий из скобы, стержней и кернов (насадок), профилирующих отверстия в изделиях.

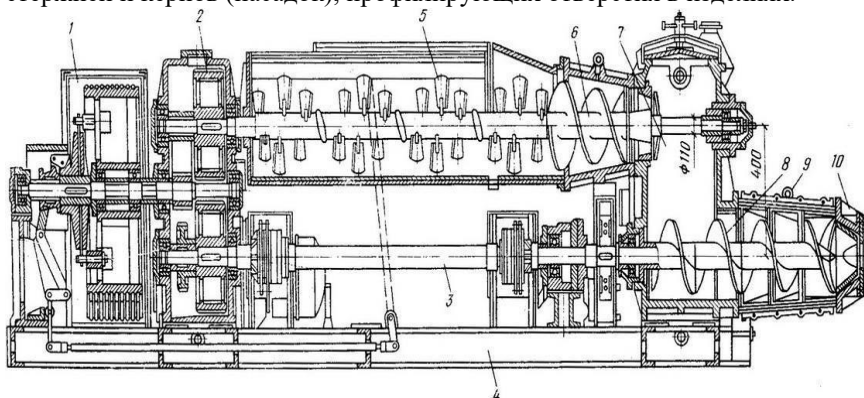


Рисунок 1. Ленточный комбинированный вакуумный пресс СМ-443:

- 1 – коробка привода; 2 – система передач; 3 – вал; 4 – станина; 5 – смеситель;
6 – верхний шнек; 7 – вакуум-камера; 8 – нижний шнек; 9 – цилиндр;
10 – головка пресса

При формовании изделия на прессах могут быть выявлены следующие недостатки:

- недостаточная плотность бруса (образование каверн, повышенное или пониженное содержание влаги);
- задиры;
- размер и форма отверстий пустотелых изделий не соответствуют требованиям;
- нерациональное использование рабочих поверхностей, что увеличивает мощность или снижает производительность устройства.

Указанные недостатки можно устранить на этапе смешивания компонентов; повысить плотность бруса, а также обеспечить его геометрические параметры на этапе формования в формующей головке [7].

Как известно, при работе пресса значительная часть мощности (до 40 %) расходуется на прессование глиномассы и продавливание ее в прессовой головке [5].

Мощность, расходуемая в головке пресса, определяется работой сил трения при движении глиномассы по стенкам переходной вставки и движении слоев глиномассы относительно друг друга. Работа сил трения глиномассы на стенках переходной вставки тем больше, чем больше длина головки. Поэтому выбор длины головки должен быть обоснован наименьшей работой сил трения.

Для улучшения вакуумирования и повышения производительности предлагается в вакуумную камеру (рис. 2) добавить питающие пары валков.

Ленточный пресс, содержит корпус 1 (рис. 2) с установленными в нем шнеком 3 (рис. 2) и питающим узлом в виде кинематически связанных с приводом валков, расположенным над шнеком, в загрузочной части корпуса 4 (рис. 2), отличающийся тем, что, с целью повышения производительности и улучшения условий обслуживания, питающий узел выполнен в виде двух питающих валков 6, 7 (рис. 2), кинематически связанных между собой для обеспечения встречного направления вращения питающих пар. При этом поперечное сечение каждого вала образовано двумя одинаковыми дугами окружности с диаметром, равным межцентровому расстоянию валков в каждой питающей паре для обеспечения в ней постоянного линейного контакта рабочих поверхностей.

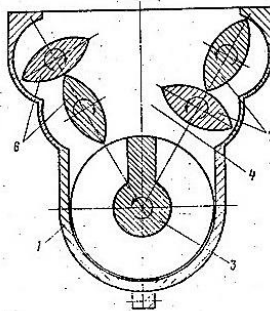


Рисунок 2. Разрез пресса:

1– разъемный корпус; 3– шнек; 4– загрузочная зона; 6,7– питающие пары валков

Повышение рационального использования рабочих поверхностей в камере прессования производится за счет регулирования по всему периметру зазора между кромками лопасти шнека и корпусом пресса (рис. 3).

Корпус ленточного пресса снабжен установленной внутри цилиндра 1 (рис. 3) с технологическим зазором относительно его внутренней поверхности и торца защитной рубашки 2 (рис. 3) вставкой 3 (рис. 3), выполненной составной из секции, имеющих кольцевую реборду 10 (рис. 3) на концевой части с внешней стороны. При этом каждая секция выполнена с уменьшающейся площадью поперечного сечения в направлении к защитной рубашке 2 (рис.4) и установлена с возможностью осевого радиального перемещений [6]. Вставка 3 (рис. 3) снабжена уплотнениями, расположенными между ее секциями. Секции в поперечном сечении имеют форму сегментов. Внутренняя поверхность каждой секции вставки 3 (рис. 3) выполнена в виде усеченного эллиптического параболоида.

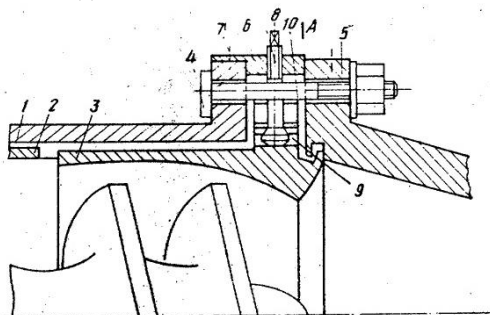


Рисунок 3. Корпус ленточного пресса:

1– цилиндр; 2– защитная рубашка; 3– вставка; 4,7,8– болты; 5– головка;
6– кольцо; 9– горизонтальный паз; 10– кольцевая реборда

Известна формующая головка ленточного пресса в виде цилиндра с резьбой по внутренней поверхности стенок для ввинчивания в полость головки мундштука [1]. Недостатком такой конструкции являются повышенный расход энергии на продавливание глиномассы через формующий орган и невысокая производительность пресса. При работе пресса в головке у стенок мундштука образуется пробка материала, так называемая «мертвая зона», в которой материал не движется и образует естественный канал течения, для основного принудительного потока формируемой глиномассы, а коэффициент внутреннего трения, «глина на глине» больше коэффициента внешнего трения «глина на стали» на 10–40% в зависимости от свойств глиномассы [9]. Учитывая, что основная часть мощности привода пресса расходуется на продавливание

глиномассы через формующий орган, то потеря мощности электродвигателя составляет 5–20%. [2]

Для снижения потерь мощности привода предлагается использовать прессовую головку ленточного пресса для керамических изделий, состоящую из корпуса 1 (рис. 4), переходной вставки 3 (рис. 4) и прямоугольных выходных отверстий 4 (рис. 4), расположенных на расстоянии друг от друга, отличающиеся тем, что внутренняя поверхность переходной вставки образована сопряженными друг с другом коническими поверхностями и поверхностью косого геликоида, причем образующие конических и геликоидных поверхностей расположены к плоскости входного отверстия под углом 45° .

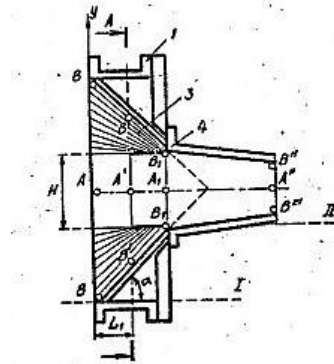


Рисунок 4. Формующая головка пресса ленточного комбинированного вакуумного СМ–443:

1– корпус; 3– переходная вставка; 4– выходное отверстие

Более рациональное использование рабочей поверхности за счет наличия усовершенствованных шнека и формующей головки позволяет снизить мощность привода и увеличить его производительность.

Таким образом, используя предложенные решения конструкции можно устранить недостатки формования путем увеличения вакуумирования в вакуум-камере (рис. 2), для уплотнения бруса используется усовершенствованный шнек (рис.3), а для того, чтобы исправить геометрические параметры бруса, используется прессовая головка (рис.4). Также снижения мощности привода пресса и увеличение его производительности, обеспечивающее более рациональное использование рабочей поверхности, обеспечивается усовершенствованным шнеком и формующей головкой.

Библиографический список:

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: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 680 с.
2. Вечканов А.В., Юрьева М.В. Модернизация ленточного прессы // сб. трудов конференции: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. С. 2574-2581.
3. Лозовая С.Ю., Уваров В.А. Моделирование движения загрузки в смесительных устройствах с изменяемыми рабочими камерами // сб. докладов: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения). 2010. С. 153-157.
4. Лозовая С.Ю., Строкова В.В., Череватова А.В. Моделирование уплотнения формовочной смеси на основе высококонцентрированной вяжущей системы // Строительные материалы, 2007. С. 68-69.
5. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Севостьянов М.В. Ресурсо-энергосберегающее оборудование и комплексы для переработки природных и техногенных материалов // Изд-во: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017
6. Патент № 1664563 А1, В28В3/20 Арсенков А.В., Соколовский М.Х., Нейфельд М.С. Шнековый пресс (Заявлено 11.04.89; опубликовано 23.07.91)
7. Патент № 2339508 Траченко А. И. Керамический кирпич и мундштук ленточного прессы для его изготовления (Заявлено: 27.03.2007, опубликовано: 2008)
8. Патент № 125122 U1, В28В3/26. Ткачев А.Г., Яценко Е.А., Смолий В.А., Косарев А.С. Устройство для пластического формования полнотелого керамического кирпича. (Заявлено: 03.05.2012, опубликовано: 27.02.2013).
9. Патент № 2272707 С2, В28В3/26. Зубро С.Б., Резников А.Д., Фомин А.С. Способ экструзии пластичных и пластифицированных материалов и устройство для его осуществления. (Заявлено: 12.04.2004, опубликовано: 27.03.2006).

ВИБРАЦИОННОЕ СМЕСИТЕЛЬНО-ПОМОЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО С ДВУМЯ СИММЕТРИЧНЫМИ ВИБРАТОРАМИ

Лозовая С.Ю., д-р техн. наук проф.,

Рысков М.С., магистрант,

Кравченко В.М., магистрант

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

Вибрационные смесительно-помольные устройства применяют в настоящее время в промышленности строительных материалов в качестве оборудования для приготовления минеральных добавок в асфальтобетонные смеси.

В данной статье предлагается описание конструкции вибрационной смесительно-помольного устройства с двумя симметрично расположенными вибраторами, обеспечивающие повышение производительности за счёт дополнительного воздействия на мелющие тела и измельчаемый материал в помольной камере. (см. рис. 1).

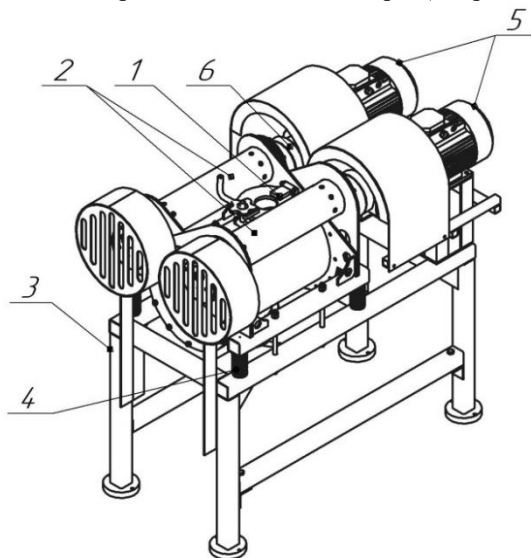


Рисунок 1. Общий вид вибрационно смесительно-помольного устройства с двумя симметричными вибраторами:

1 – корпус; 2 – вибраторы; 3 – упругая опора;

4 – цилиндрические пружины; 5 – электродвигатели; 6 – эластичная муфта

Вибрационная смесительно-помольное устройство представляет собой помольную камеру 1, рядом с которой расположены два вибратора 2. Камера установлена на упругой опоре 3 из цилиндрических пружин 4. Внутренний объем камеры на 0,8...0,9 заполнен загрузкой - смесью обрабатываемых тел и материала.

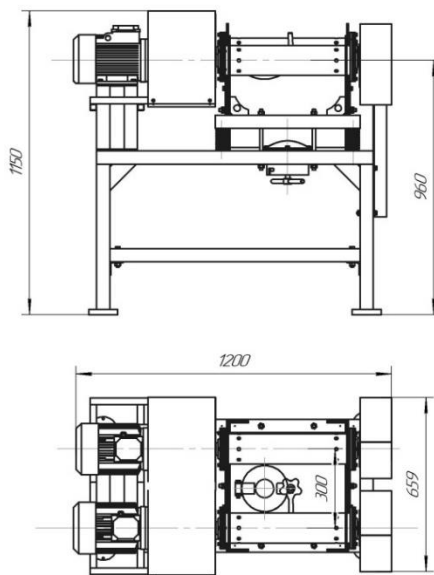


Рисунок 2. Габаритные размеры вибрационной смесительно-помольное устройства с двумя симметричными вибраторами.

При работе данного оборудования электродвигатели 5 через эластичную муфту 6 приводит дебалансный вал вибратора во вращение, в результате чего возникает переменная сила. Под воздействием этой силы камера поступательно перемещается по траектории, близкой к круговой. При этом внутренняя поверхность корпуса камеры передает движение загрузке, в результате чего возникает относительное движение ее частиц. В зонах соударения частиц создаются механические напряжения, приводящие к изменению их структуры (разрушение, агрегированию, деструкции, синтезу и т.п.), а также к взаимодействию между материалом частиц и средой, заполняющей пространство между ними.

Одновременно происходит разрушение поверхности обрабатывающих тел и корпуса смесительно-помольного устройства - абразивный износ, который определяет срок их службы и приводит к загрязнению обрабатываемого материала продуктами износа.

Темп абразивного износа определяется твердостью материала (табл. 1) и износостойкостью рабочих поверхностей.

Твердость некоторых материалов (по шкале Мооса)

Тальк	1	Полевой шпат	6
Гипс	2	Кварц	7
Кальцит	3	Топаз	8
Флюорит	4	Корунд	9
Апатит	5	Алмаз	10

При работе смесительно-помольное устройства вся масса загрузки медленно вращается в сторону, противоположную направлению вращения валов вибраторов, что способствует распределению материала в обрабатывающих телах и обеспечивает интенсивное перемешивание и равномерность его обработки.

Библиографический список:

1. Макаров Ю.И. Проблемы смешения сыпучих материалов // Журнал всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. -1988. - № 4. -Т. 33. С. 384-389.
2. Гучева, Н. В. Вибрационный смеситель сухих ингредиентов комбикормов / Н. В. Гучева, В. Д. Ильченко, Е. В. Ревякин //Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: матлы междунаро. науч.-практ. конф. 4-5 марта 2010г. в рамках 13-й междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2010». — Ростов-на-Дону, 2010. — С. 156–158.
3. Дабижа А.А., Иванова Л.П., Котляров В.А. и др. Вибрационное измельчение порошков оксидов Al_2O_3 /. Порошковая металлургия. – 1990. – №8. – с. 6-9;
4. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники и технологии. – М.: Машиностроение. – 1969. – 363с.
5. Фролов К.В., Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии. – М.: 1981. – 319с., ил.

АНАЛИЗ РЫНКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,

Кравченко В.М., магистрант,

Тулина А.В., аспирант

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

В настоящее время в мире ежегодно образуется большое количество изношенных автомобильных шин, а перерабатывается и используется в качестве вторичного продукта лишь 15% от их общего объема. Остальная часть изношенных автомобильных шин из-за отсутствия приемлемых процессов и технологий накапливается и складывается на территориях предприятий и организаций.[2] Данному вопросу посвящен целый ряд законов межгосударственного уровня, к важнейшим из которых относятся: Директива Европейского Союза 2000/53, ГОСТ 8407-2007 «Сырье вторичное, резиновое. Покрышки и камеры шин», Модельный закон "Об отходах производства и потребления" от 31 октября 2007 г. N 29-15.

В 2018 году в Федеральном законе «Об отходах производства и потребления» были внесены очередные поправки, согласно которым утилизация автомобильных покрышек путём закапывания в землю запрещена. В настоящее время в мире известны следующие способы утилизации изношенных автомобильных шин складирование, захоронение, декоративное и другое использование в личных целях, восстановление, сжигание, переработка.

С целью решения данной проблемы Министерством природных ресурсов России 30 07 2003 г был издан указ № 663 «О внесении дополнений в федеральный классификационный каталог отходов», которым изношенные шины, камеры и другие резинотехнические изделия признаны опасными отходами и им присвоена 4-я категория опасности Изношенная шина представляет собой ценное вторичное сырье, содержащее 65-70% резины (каучук), 15-25% технического углерода, 10-15% металла, поэтому не целесообразно выбрасывать шины в утиль, их необходимо перерабатывать и извлекать полученный продукт (резиновую крошку), в экономический оборот.

Сфера применения резиновой крошки довольно велика, начиная с самых популярных, заканчивая менее распространёнными: использованием в дорожных покрытиях, для производства строительных

материалов, а также для покрытия площадок различного назначения. Отдельное особое место занимают черепицы из резиновой крошки.

Обычно производство регламентирует создание продукта фракциями от 0,1мм до 10мм. На подобные настройки наложено оборудование, ГОСТ и ISOрекомендует придерживаться их в процессах производства. Например, можно разделить фракции условно на три группы:

1. 0,1-4мм – резиновая крошка мелкой фракции, самые качественные, применяются в создании однородных смесей или изделий, как наполнитель.
2. 4мм-6мм – средней фракции.
3. 6мм-10мм – более дешевая крошка крупной фракции.

При производстве черепицы, используется очень тонко измельченная резиновая крошка, размер которой не больше 0,5 мм.

Переработка шин в резиновую крошку происходит в несколько этапов. Сначала шины укладывают на специальную площадку, расположенную в непосредственной близости с производственным зданием. Оттуда автопогрузчиками доставляется к установленной линии по производству резиновой крошки. После прохождения всех этапов, готовый продукт, представляющий собой резиновую крошку всех фракций, соответствующих стандартам, засыпается в мешки и также, погрузчиками вывозится в складские помещения, где хранят готовую продукцию.[4]

Переработка автошин в резиновую крошку проходит несколько производственных секторов, первый из которых является подготовительным сектором. Здесь происходит надрез бортовой проволоки в посадочном кольце шины, для этого покрышку устанавливают в станок. После установки шины, толстую бортовую проволоку вытягивают и складывают для будущей прессовки. Таким образом, происходит вытягивание проволоки из колец как для шин грузовых, так и легковых автомобилей.

После этого процесса шина попадает на конвейер, который подает ее на дробилку, состоящую из двух отсеков: дробилки и возвратного просеивателя, представляющего собой вращающийся барабан с отверстиями. Внутри просеивателя и расположена камера дробления, внутри которой находятся два встречно вращающихся вала с дисковыми ножами.

Покрышка захватывается ножами и разрывается на куски, которые называют «чипсами». Ножи охлаждаются водой, поступающей через

специальную форсунку. «Чипсы», достигая определенного размера, проваливаются через отверстия просеивателя и попадают на транспортер, который доставляет их во вторую дробилку, откуда попадают на следующую стадию дробления и так, несколько раз. Магнитный отборщик выделяет из общей массы текстиля, металла и резины металлические включения.

После прохождения отдела с магнитным отборщиком происходит переработка резиновой крошки от текстильных включений в, так называемом, вибростопе. В этом отделе под влиянием вибрации текстильное волокно скатывается в комки, продвигается и отводится в сторону на ватные сепараторы, которые производят более тщательную переработку резиновой крошки. После прохождения двух сепараторов, очищенная резиновая крошка попадает в бункер с фасовочным устройством, к которому прикрепляются мешки для тарирования крошки.[1] Вот таким образом происходит механическая переработка шин в резиновую крошку.

Для создания кровельного материала, в битумную основу добавляют полиуретан, после чего крошку смешивают тиоколом, эту массу и заливают на крышу. Кровля из резиновой крошки образует однородный слой, плотно прилегающий к основе, формируя монолитное покрытие.

Химико-физический состав такой кровли позволяет обеспечить испарение без образования конденсата. Это очень важно для строения, так как позволяет зданию дышать. Кроме того, к положительным качествам покрытия из резиновой крошки можно отнести ее прочность, устойчивость к температурным перепадам и погодным условиям.

Черепица обладает гидроизоляционными, теплоизоляционными и шумопоглощающими свойствами. А при жаркой погоде кровля из черепицы нагревается на несколько градусов меньше, чем металлические и шиферные покрытия. Если сравнивать свойства резиновой черепицы с ее аналогами, то можно прийти к выводу, что в сравнении с деревянным аналогом она не крошится, устойчива к излому и трещинам, не подвержена губительному воздействию ультрафиолета, не гниет, лучше поглощает шум, удерживает влагу, а преимущество перед металлической черепицей – не деформируется и не подвержена коррозии.

Еще одним положительным элементом является то, что резиновая черепица производится из вторсырья (автомобильные покрышки, резиновые изделия), но при этом, за счет переработки, является

экологически чистым материалом, не вредит здоровью и не выделяет опасных веществ.[3] Также пожаробезопасность резиновой черепицы также является ее конкурентным преимуществом. В совокупности перечисленных достоинств данного вида покрытий, инновационный материал может прослужит более 50 лет.

Поэтому совершенствование и создание нового оборудования для вторичной переработки резинотехнических изделий, в частности шин является актуальным в наше время.

Библиографический список:

1. Клищенко, В. П. Разрушение резин при различных способах механического воздействия / В. П. Клищенко, Ю. Р. Абдрахимов, Н. В. Вадулина // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело" № 2. - 2013. - С. 419-429.с.
2. Лозовая С.Ю., Кравченко В.М., Садик С.А. Анализ способов переработки резино-технических изделий// Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. / под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2019. Вып. XVIII. С. 211-215.
3. Тарасова, Т. Ф. Экологическое значение и решение проблемы переработки изношенных автошин / Т. Ф. Тарасова, Д. И. Чапалда // Вестник ОГУ № 2. - Февраль 2006. - Т. 2. - С. 130-135.
4. Тарасова, Т. Ф. Установка для переработки изношенных автомобильных шин механическим скоростным способом / Т. Ф. Тарасова, Д. И. Чапалда // Вестник ОГУ №2. - Февраль 2007. - С. 115-122.

ПРОБЛЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,

Кравченко В.М., магистрант

Тулина А.В., аспирант

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

Для решения и составления математических моделей с использованием компьютерной техники, возникает проблема их информационного обеспечения. Данная задача связана со следующими факторами: средой моделирования и данными, необходимыми для составления и постановки математической модели.

В данный момент в моделировании и решении технических задач обширно используются различные программы, например: «Mathcad», «Matlab», «LabVIEW» [1]. Также используется моделирование физических процессов и расчет параметров системы с использованием САПР, таких как «Inventor», «NX Nastran», «SolidWorks», «Ansys» и др.

Использование таких программ позволяет:

- существенно снизить время исследований;
- уменьшить стоимость проведения исследования, за счет частичного или абсолютного отказа от реальных физических экспериментов;
- получать результаты необходимой точности для изученных явлений и процессов;
- увеличить проверку в эксперименте;
- снизить численность участников исследований;
- увеличить качество и информативность эксперимента.

Также данные программы(системы) имеют порядок ограничений. Одним из главных, является проблема моделирования новых малоизученных процессов. Это связано с ограниченным набором встроенных функций в этих программах, а также методов расчета и анализа данных. Зачастую алгоритм расчета какого-нибудь процесса является закрытым и неизвестным, поэтому его нельзя модифицировать или изменить. Существует и вопрос определения физических параметров исследуемой модели, если позднее они нигде не рассматривались или данные не публиковались в общедоступной печати.

Следовательно, можно выделить ряд базовых элементов информационного обеспечения моделей, изображенных на рисунке 1.



Рисунок 1. Базовые элементы информационного обеспечения математической модели

Под «особым» элементом математической модели (рис.1) понимается элемент или часть моделируемой системы [3], которую нельзя решить с применением готовых программ, так как методы численного решения или методы анализа этих решений, встроенные в данный программный продукт, неподходящие к данному элементу или их применение ограничено или они не обеспечивают приемлемой производительности выполнения расчетов. «Особый» элемент в системе может быть не один.

А это значит, что таким элементом является измельчаемая покрышка [2]. Появление в модели «особого» элемента, приводит к тому, что нужно найти численные значения параметров, описывающих свойства материала покрышки. Данный элемент информационного обеспечения указан на схеме (рис.1) как информация в сети.

Изучив общедоступную печать стало понятно, что там недостаточно данных, как по механическим свойствам не накачанной покрышки, таким как жесткость или коэффициент демпфирования, так и по методам расчета взаимодействия упругой тороидальной оболочки с измельчающим инструментом, таким как шарошка. В связи с этим, нужно выполнять экспериментальное и аналитическое определение

используемых в математической модели параметров автомобильной покрышки [4].

Но следует отметить, что для аналитического определения некоторых свойств покрышки, все-таки можно использовать программу «SolidWorks Simulation», которая поможет определить обеспечение конечно-элементного моделирования:.

Для резины характерны особенности, которые в значительной мере отличают процесс измельчения покрышки от процесса измельчения других материалов [2]. Основное отличие состоит в необходимости учитывать при моделировании упруго-инерционные свойства измельчаемой оболочки и кинематику движения инструмента.

Следующий пункт информационного обеспечения, это база знаний. Под этим пунктом следует понимать, что весь доступный исследователю литературный материал в соответствующей области, с применением которого можно преодолеть назначенную задачу. А если разбирать приведенный выше пример, то это будет литература по математике, теории упругости и динамике.

Процесс механическим способом измельчения покрышки сопровождается сильными вибрациями, в результате того, что материал является вязкоупругим и обладает инерционностью, которую нужно учитывать. В процессе измельчения упругая оболочка отжимается от зубьев инструмента из-за воздействия вынуждающей силы, отчего процесс измельчения протекает неэффективно и со значительными упругими колебаниями покрышки.

Главной трудностью при составлении математической модели данного процесса является определение функции вынуждающей силы и характера ее изменения в зависимости от свойств материала, с учетом упругих деформаций динамической системы и режимов измельчения.

Немаловажно выделить, что математические модели очень редко, когда с высокой степенью достоверность описывают моделируемый процесс. А это значит чем точнее модель какого-либо физического явления, тем она сложнее и дольше выполняется процесс ее постановки. При этом, зачастую, нужны не столько точный полученный результат, а сколько характер изменения изучаемого процесса и влияние на него входных параметров модели.

Существующие программы, такие как «Matlab», «Mathcad» и «LabVIEW», имеют узкий функционал и не позволяют решать большинство задач [1]. Проводить моделирование практически без ограничений разрешают языки программирования значительного

уровня, такие как: «C/C++», «C#», «Delphi», «Java», «Python» и т.д. А также повышаются требования к знаниям и навыкам разработчика, который обязан не только быть специалистом в предметной области, но и уметь программировать. Но все-таки это позволяет решать нестандартные задачи и моделировать процессы, которые мало изучены и являются достаточно сложными.

Библиографический список:

1. Лозовая С.Ю. Надежность горных машин и оборудования [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 150402 - Горные машины и оборудование; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2010. - 185 с.
2. Кузнецов Н.П., Волохин А.В. Особенности утилизации в России изношенных автомобильных покрышек / Н.П. Кузнецов, А.В. Волохин //Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – №2(16). – С.59-63.
3. Емельянова С.В. Информационные технологии и вычислительные системы. Вычислительные системы. Компьютерная графика. Распознавание образов. Математическое моделирование / Под ред. - М.: Ленанд, 2015. - 100 с.
4. Емельянова. С.В. Информационные технологии и вычислительные системы: Обработка информации и анализ данных. Программная инженерия. Математическое моделирование. Прикладные аспекты информатики / Под ред.: Ленанд, 2015. - 104 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Малахов М.А., магистрант

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

В настоящее время развитие промышленности в РФ ориентируется на модернизацию существующего оборудования. Модернизация предполагает улучшение существующих параметров оборудования при одновременном снижении удельных затрат на выпускаемую продукцию, т.е. направлена на энергосбережение и снижение себестоимости [1].

Одним из основных путей снижения себестоимости клинкера является увеличение межремонтного периода вращающейся печи. Применение принудительного охлаждения корпуса вращающейся печи обеспечивает образование на огнеупорной футеровке устойчивой обмазки, что приводит к увеличению срока службы огнеупорной футеровки в 1,5-2 раза [2], при этом не допускается повышение температуры обечайки выше 200 С°, при которой её механическая прочность начинает снижаться. Температура корпуса печи при интенсивном искусственном охлаждении составляет 70-90 С° [3].

Принудительное охлаждение корпуса вращающейся печи осуществляется водой или воздухом. В настоящее время воздушный способ охлаждения корпуса вращающейся печи уступает по популярности у производителей водному способу охлаждения из-за более низкой эффективности охлаждения воздуха по сравнению с водой. В свою очередь, воздушный способ является более простым, надежным и дешёвым [2]. Следовательно, поиск решений для увеличения эффективности воздушного охлаждения в настоящее время является перспективным.

Определить причины низкой эффективности воздушного способа охлаждения корпуса вращающейся печи возможно двумя способами. К первому относятся эмпирические исследования элементов конструкции, которые являются довольно продолжительными, дорогостоящими и трудоемкими и не позволяют установить точный характер процессов охлаждения корпуса печи. Вторым способом является цифровое моделирование процесса охлаждения корпуса вращающейся печи,

который менее затратный с точки зрения материальных вложений и времени [4].

В данной работе для создания цифровой модели использовался программный комплекс SolidWorks, т.к. он представляет собой систему гибридного параметрического моделирования, которая предназначена для проектирования деталей и сборок в трехмерном пространстве с возможностью проведения различных видов анализа [5].

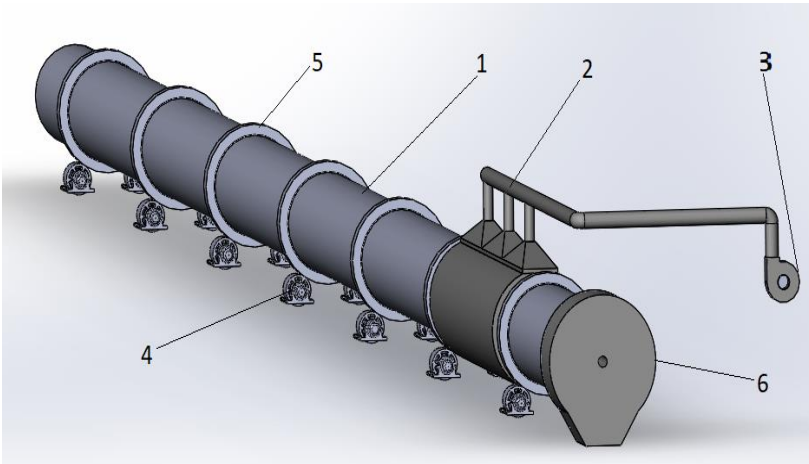


Рисунок 1. Цифровая модель вращающейся печи 4,5×170м:

- 1 – корпус печи, 2 – устройство воздушного охлаждения, 3 – дымосос,
4 – опорный ролик, 5 – бандаж, 6 – горячая головка.

При анализе воздушного охлаждения использовалась цифровая модель вращающейся печи 4,5×170м с установленным на ней устройством для воздушного охлаждения корпуса с применением дымососа ДН-11,2, с электродвигателем 200L4 мощностью 45 кВт, производительностью 28750 м³/час.

Проведенный анализ показал, что основной причиной низкой эффективности воздушного охлаждения корпуса печи является то, что при работе воздух не в полном объеме соприкасается с корпусом печи и значительный его объем проходит через устройство, не участвуя в процессе охлаждения (рисунок 2).

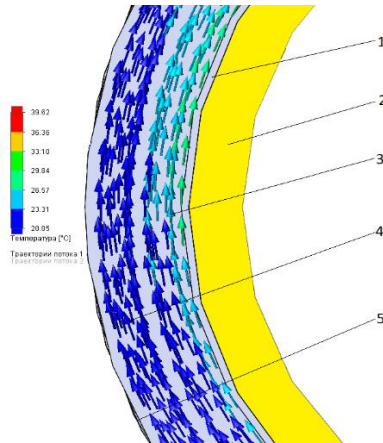


Рисунок 2. Траектория потока воздуха:

1 – корпус печи, 2 – футеровка, 3 – поток воздуха участвующий в охлаждении, 4 – поток воздуха не участвующий в охлаждении, 5 – кожух.

Данную проблему можно решить путем искусственного увеличения площади охлаждающей поверхности, разместив на охлаждающем участке корпуса теплосъемные пластины, что, в свою очередь, позволит большому объему воздуха принимать участие в охлаждении корпуса.

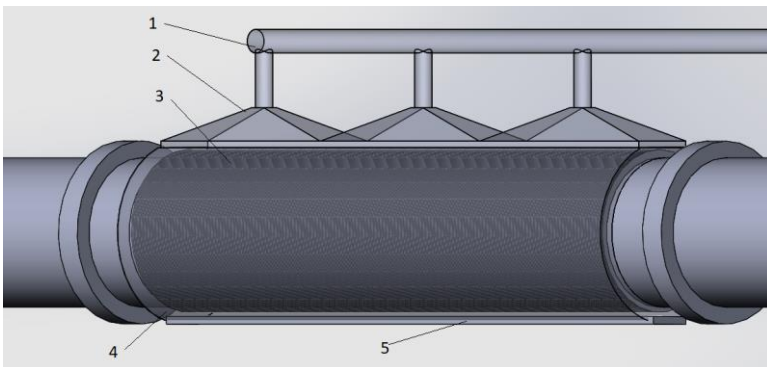


Рисунок 3. Предлагаемое решение:

1 – газоход, 2 – раструб, 3 – теплосъемные пластины, 4 – кожух, 5 – всасывающие отверстие.

Для определения эффективности предлагаемого решения в цифровую модель вращающейся печи были добавлены теплосъемные пластины толщиной 3мм, высотой 200мм и на расстоянии 60мм друг от друга, так же был заменен электродвигатель дымососа на 200М6 с мощностью 22 кВт и производительностью 19100 м³/час и был повторно запущен расчет.

Результаты моделирования в SolidWorks Flow Simulation были экспортированы в пакет программ Microsoft Excel и получены графические результаты двух экспериментов (рисунок 4).

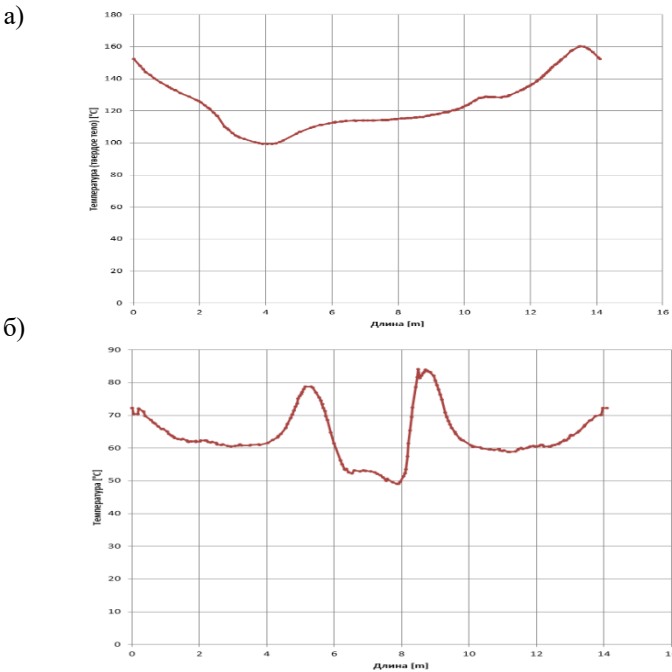


Рисунок 4. Графические результаты моделирования:
а – без применения теплосъемных пластин, б – с применением теплосъемных пластин.

Сравнивая результаты расчетов, делаем вывод, что применение теплосъемных пластин при воздушном охлаждении корпуса вращающейся печи целесообразно, так как эффективность охлаждения

увеличивается на 48.8% при том, что затраты на электроэнергию из-за замены электродвигателя на менее мощный уменьшаются на 51,1%.

Библиографический список:

1. Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М., Гавриленко А.В., Кулаков Л.С., Гавшин А.П. Исследование мультисоплового аэрационного устройства в пневмокамерном насосе // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2017, №8. - С. 140-147.
2. Юнг В.Н., Бутт Ю.М., Журавлев В.Ф., Огороков С.Д. Технология вяжущих веществ. 1952. - 608 с.
3. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. 1980. 472 с.
4. Николукин А.Н., Ярцев В.П., Мамонтов С.А., Коломникова И.И., Аль Вард А.М. Анализ напряженно-деформированного состояния бетона и арматуры в области их зацепления в программном комплексе ANSYS // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2019, №11. - С. 43-50.
5. Князьков В.В. SolidWorks/COSMOSWorks/ Компьютерное моделирование и инженерный анализ методом конечных элементов: учеб. пособие; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2010. – 216с.

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Бражник А.А., аспирант,

Кошелев М.А., магистрант,

Дейнеко С.Ю., магистрант

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

В технологических линиях по производству бетонов различных марок на современных предприятиях получили широкое применение смесители, отличающиеся конструкцией, принципом действия и режимами работы: периодического и непрерывного действия, гравитационные и принудительного действия, барабанные, лопастные, одно- и двухвальные, роторные и планетарные, пропеллерные, вибрационные, пневматические и т.д. [3].

В настоящее время известны различные конструкции [1] мешалок (рис. 1) аппаратов принудительного действия для приготовления бетонных и строительных смесей.

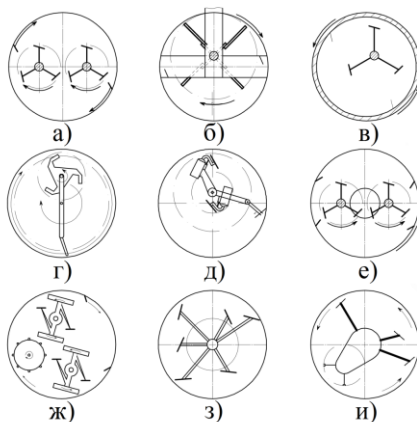


Рисунок 1. Схемы смешивающих аппаратов принудительных смесителей:

- а) – прямоточный с вертикально расположенными валами и неподвижной чашей,
- б) и в) – то же, с вращающейся чашей, г) – противоточные с вертикально расположенными валами и неподвижной чашей, д), е), и ж) – то же, с вращающейся чашей; з) – роторные; и) – планетарно-роторные

Смеситель, разработанный фирмой Liebherr (рис. 2) относится к типу планетарно-роторных смесителей [5].

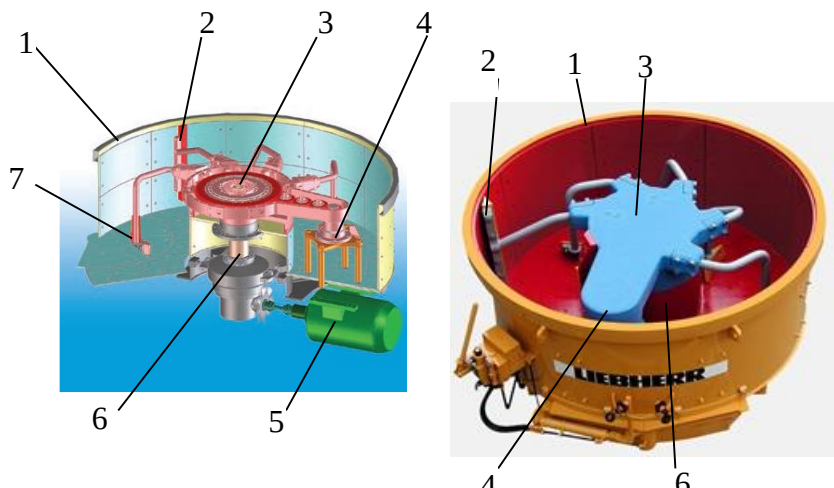


Рисунок 2. Смеситель ротор планетарный Li эгт:
1 – корпус, 2 – очистная лопасть, 3 – ротор, 4 – активатор, 5 – двигатель,
6 – вертикальный вал, 7 – смесительная лопасть

Процесс смешивания в смесителе Liebherr производится вертикальным ротором 3, на котором закреплены смесительные 7 и очистная 2 лопасти. Для повышения качества готовой бетонной смеси и интенсивности воздействия на роторе также установлен активатор 4. Объем корпуса смесителя составляет $0,5 \text{ м}^3$, мощность привода 30 кВт.

Недостатками смесителей данной конструкции является относительно высокая стоимость, гравитационное расслоение компонентов смеси различной насыпной массы, значительное время разгрузки смесителя.

Смеситель планетарный противоточный HPGM фирмы Wiggert (рис. 3) применяется для производства бетонных и строительных смесей [6].

Смесительные звездочки 3, вращающиеся вокруг вертикальной оси смесителя, обеспечивают массообмен при минимальном перемещении материала, благодаря чему достигается качество перемешивания и высокая степень однородности материала, даже при производстве сложных смесей. Привод осуществляется сверху от электродвигателя 1 и

редуктора 2 на ротор 5 с боковым скребком 7. Перемешивающие звездочки 3 приводятся в действие через встроенную в ротор планетарную зубчатую передачу. В зависимости от типоразмера смесителя используется одна, две или три перемешивающие звездочки. Лопасты 8 в планетарных бетоносмесителях придают частицам смеси движение по сложным круговым траекториям и соударяют их во встречных потоках.

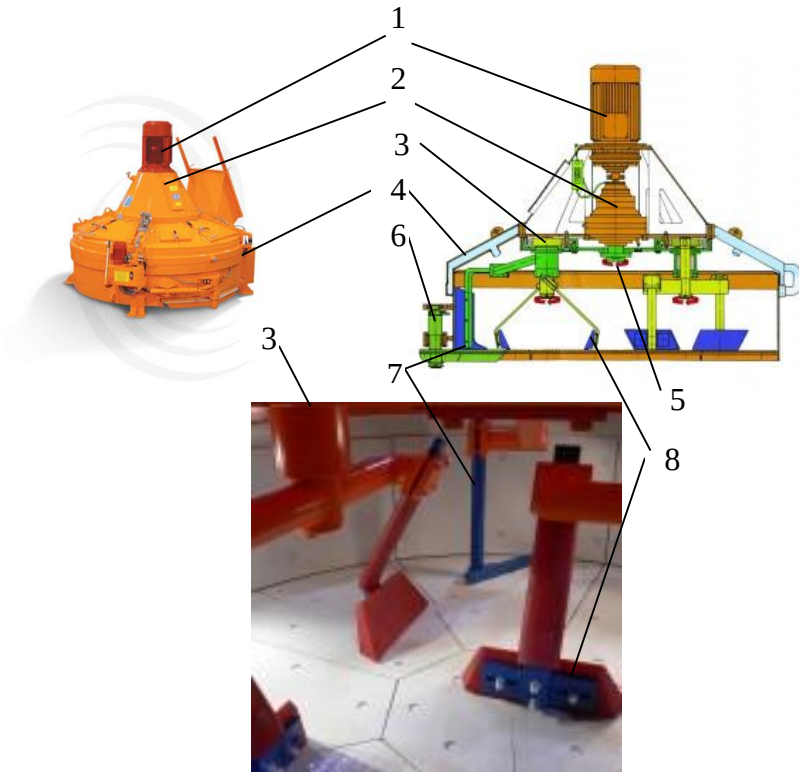


Рисунок 3. Смеситель фирмы Wiggert:

1 – электродвигатель, 2 – редуктор, 3 – перемешивающие звездочки, 4 – корпус, 5 – ротор, 6 – разгрузочное устройство, 7 – боковой скребок, 8 – лопасти

Анализ существующих конструктивных бетоносмесителей принудительного действия, используемых для получения бетонов и растворов различных марок [2, 4], показал, что наиболее эффективной

является схема смешивающего аппарата планетарно-роторного типа. В таких смесителях перемешиваемые частицы движутся по сложным круговым траекториям, что позволяет получить более качественную смесь при минимальном времени перемешивания. Особенно важным является тот факт, что мелкие концентрации равномерно распределяются по всему объему смесительной камеры. Это решает вопрос «вмешивания» мелкодисперсных компонентов в основной объем смеси.

Библиографический список:

1. Борщевский А.А. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: учебник / А.А. Борщевский, А.С. Ильин. – М.: Издательский дом «Альянс», 2009. – 368 с.
2. Густов Ю.И., Кайтуков Б.А., Григорьев М.Н. Повышение эффективности работы роторного бетоносмесителя принудительного действия // Механизация строительства. – 2016. – Т.77. - № 11. С. 26-29.
3. Несмеянов Н.П., Ермаков С.Е., Рыбалка Е.А., Климов С.С. Состояние и направление развития смесительного оборудования // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVII. – 2018. – С. 249-252.
4. Матусов М.Г. Совершенствование процессов загрузки и смешивания в роторном смесителе с лопастями геликоидного типа: дис. ... канд наук: 05.02.13 / Матусов Михаил Геннадьевич. – Б., 2018. – 190 с.
5. <https://www.liebherr.com/en/rus/products/construction-machines>.
6. <http://ru.wiggert.de/products/hpgm/>

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СМЕСИТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОЙ СРЕДОЙ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Бражник А.А., аспирант,

Каторгин И.С., магистрант,

Скворцов Д.С., магистрант

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

При производстве различных строительных материалов важное место в технологии принадлежит процессу приготовления сырьевой формовочной смеси, в котором участвуют различные машины: питатели, дозаторы, стержневые и шаровые трубные мельницы, растиратели - гомогенизаторы, смесители, засыпные устройства, конвейеры и другое технологическое оборудование. В каждой такой машине соответствующим образом происходит взаимодействие рабочих органов с обрабатываемой средой - силикатной, керамической и другой формовочной смесью, от которой зависит качество обработки сырья, расход потребляемой мощности и надежность и долговечность машины в целом. Следовательно, знание закономерности взаимодействия рабочих органов машин с обрабатываемой средой имеет важное практическое значение, особенно при разработке и создании рациональных конструкций их рабочих органов [1, 3].

Рассмотрим основные принципиальные схемы конструкций машин и их рабочих органов при переработке сыпучих формовочных смесей и дадим краткое описание характера их взаимодействия с обрабатываемой средой с учетом подачи и выдачи смеси, их надёжности и долговечности.

В машинах с вертикально вращающимся рабочим валом [4] сырьевая смесь подается в корпус сверху, и после обработки выпускается вниз, например, в пресс-формы под действием сил и сил тяжести активного воздействия рабочих органов. В зависимости от расположения разгрузочного отверстия (центральное или децентрализованное) может изменяться характер движения смеси в объёме корпуса и характер взаимодействия её с рабочим органом. Рабочие органы отдельной группы этих машин в зависимости от угла установки лопастей (ножей) могут создавать дополнительное давление на смесь, благодаря чему повышается, например, плотность засыпки пресс-форм перед прессованием. Рабочие органы других машин в основном

оказывают на смесь рыхлительное действие, т.е. служат средствами для повышения сыпучести (текучести) смеси. Если в отдельных машинах смесь скользит по рабочим органам сверху вниз за счет гравитационных сил и сил трения, то в машинах с горизонтальным расположением лопастей (ножей, рамок, стержней и т. д.) смесь оказывает давление на них сверху вниз, увеличивая тем самым сопротивление на перемещение рабочих органов. В пресс-мешалках в зависимости от величины зазора между лопастями и днищем могут возникать значительные сопротивления от заклинивания частиц смеси, их крупности и предела прочности на сжатие и изгиб. В машинах лопастного типа рабочие органы оказывают подпрессующее давление, в связи с чем в конструкции могут возникать значительные усилия. В наполнителях пресс-форм сопротивление перемещению траверсы с лопастями может резко изменяться в зависимости от угла их установки. Кроме того, вертикально расположенные лопасти и стержни обрабатывают смесь по всему объёму корпуса, из-за чего возрастает сопротивление на их перемещение [2].

В машинах с горизонтально вращающимися валами сырьевая смесь подаётся сверху вниз, т.е. перпендикулярно вектору окружной скорости рабочих органов. В наполнителях пресс-форм игольчатого и рамочного типов рабочие органы служат для рыхления сырьевой смеси, т. е. для повышения её сыпучести. В смесителях непрерывного действия смесь под действием лопастного вала движется вдоль оси, совершая сложное движение, и разгружается в конце корпуса смесителя под действием сил тяжести. Характер взаимодействия рабочего органа со смесью определяется конструкцией смесительного вала, углом установки лопастей, высотой смеси в корыте, углом наклона корпуса смесителя и физико-механическими и технологическими свойствами самой смеси.

В практике обработки керамических, силикатных и прочих сыпучих материалов могут использоваться и другие конструкции машин с рабочим органом в виде: катков, щёток, шнеков, молотков и т. п. Однако характер движения смеси и взаимодействия с ней рабочих органов в них мало чем отличается от рассмотренных выше.

В отдельных конструкциях машин используется вибрация корпуса и рабочего органа, которая повышает их эффективность и в некоторых случаях уменьшает сопротивление на вращение рабочих органов [5].

Следовательно, при расчетах и проектировании новых конструкций машин необходимо знать, как характер движения сырьевой смеси и

взаимодействия ее с рабочим органом, так и силы сопротивления, возникающие при вращении рабочих органов.

Для выявления характера и закономерности изменения сил сопротивления, возникающих при вращении рабочих органов, например, в силикатной смеси, проводились специальные экспериментальные исследования для большинства из рассматриваемых выше машин. Испытания состояли в определении крутящего момента на рабочем валу и в определении давления с помощью специально разработанного датчика, который устанавливался на рабочий орган машины, с регистрацией показаний при помощи стандартной тензоизмерительной аппаратуры. Затем проводилась сравнительная оценка экспериментальных данных с данными, рассчитанным по аналитическим формулам, которые рекомендованы в справочной и учебной литературе по расчету подобных машин.

Под сопротивлением вращению рабочих органов машин здесь понимается сила сопротивления, приходящаяся на 1 м² активной поверхности вращающихся в смеси элементов, и имеющая размерность давления н/м² (Па, КПа, МПа).

Сопротивление вращению рабочих органов зависит от физико-механических и технологических свойств сырьевой силикатной смеси и конструктивно-технологических параметров машин. Так сопротивление (коэффициент сопротивления) движению лопасти для силикатной смеси составляет 15-60 КПа, а при обработке глины (1,8-2,5) - 10⁰ Па(4).

Часто при расчетах машин, перерабатывающих сыпучую и жидкую среду используется динамическое сопротивление, которое по Ньютону пропорционально напору жидкости (среды) и площади проекции тела на плоскость, перпендикулярную движению.

$$P = C \cdot \rho \cdot \frac{F \cdot v^2}{2}, \text{ н,} \quad (1)$$

где С - безразмерный коэффициент пропорциональности (коэффициент сопротивления); ρ - плотность среды кг/м³; F-площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения, м² ; v - скорость движения тела, м/с.

Чтобы пользоваться формулой (1) надо знать значение безразмерного коэффициента пропорциональности С. В ряде случаев рекомендуют принимать следующие значения коэффициента: С = 1,23 – 1,28 при обработке шлаков; С = 5-6 при обработке асфальтобетона и др.

Для оценки значения коэффициента пропорциональности C применительно к рассматриваемым машинам были произведены его расчеты по формуле (1) по данным экспериментальных испытаний.

В результате этих исследований установлено, что коэффициент C имеет значительно большую величину (50 - 1400), чем рекомендуется в учебной литературе. Кроме того, для отдельных конструкций машин значения коэффициента пропорциональности различные, хотя обрабатываемая смесь и скоростной режим машин приблизительно одинаковые. Следовательно, пользоваться формулой (1) при расчетах силы сопротивления при вращении рабочих органов рассматриваемых машин, обрабатывающих силикатную, керамическую и подобную им сыпучую формовочную смесь, не рекомендуется.

При расчетах бетоносмесителей момент сопротивления движению рабочего органа приближенно определяется по формуле:

$$M = p \cdot F \cdot r \cdot \cos \alpha \cos \beta, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2)$$

где p - удельное сопротивление бетонной смеси, приходящееся на 1 м² площади лопасти, н/м²; F - площадь лопасти, м²; Z - расстояние от центра тяжести лопасти до центра вращения ротора, м; α и β - углы наклона лопасти соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Сопротивление p зависит от скорости перемещения лопасти в смеси. По данным К. М. Королева удельное сопротивление при обработке бетонных смесей рекомендуется принимать равным $(3-6) \cdot 10^5$ н/м².

Другие формулы, встречающиеся в литературе, являются лишь разновидностью формул (1) и (2).

Ориентировочно момент сопротивления M вращению рабочих органов, обрабатывающих силикатную смесь можно рассчитать по формуле:

$$M = p \cdot z \sum_{i=1}^n F_i \cdot R_i \quad (3)$$

где p - сопротивление сырьевой смеси, отнесённое к 1 м² элементов рабочих органов машины. Принимается по данным экспериментальных исследований (см. табл.1) и является функцией многих переменных (физико-механических и технологических свойств смеси, характера взаимодействия рабочих органов и среды в корпусе машины, скоростного режима и т. п.); z - количество рабочих валов,

установленных на машине; n - количество рабочих элементов на валу; F - площадь проекции i -го элемента рабочего вала на направление вращения; R_i - расстояние от оси вращения вала до центра тяжести i -го элемента.

Рекомендуется при расчете M составить таблицу, в которой необходимо указать номер рабочего органа, площадь, угол наклона элемента, площадь проекции, расстояние от оси вращения до центра тяжести элемента, значение момента сопротивления, скорость и мощность привода.

Мощность привода рассчитываются по формуле:

$$P = \frac{M \cdot \omega}{1000 \cdot \eta} \quad (4)$$

где ω - угловая скорость рабочего органа машины, с^{-1} ;
 η - КПД привода, $\eta = 0,85 - 0,9$

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что характер взаимодействия рабочих органов с перерабатываемой, например, силикатной средой для разных машин различны и определяется их конструкцией, физико-механическими и технологическими свойствами и направлением движения самой смеси. При этом сопротивление смеси перемещению в ней рабочих органов зависит от большого количества факторов: конструктивных и технологических параметров машины, физико-механических и технологических свойств самой сырьевой смеси и характера её взаимодействия с рабочими органами машины.

Библиографический список:

1. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Высшая школа, 1971 - 382с.
2. Ильин А.С. Современное оборудование для подачи и дозирования сырьевой смеси при производстве силикатных изделий. Обзорная информация. М.:ЦНИИТЭ строймаш, 1980 - 48 с.
3. Ильин А.С. Современная технология и оборудование для эффективного силикатного кирпича и камней. Обзорная информация. М.: ЦНИИТ строймаш, 1982. – 40 с.
4. Бражник Ю.В. Совершенствование конструкции процесса смешивания в лопастном смесителе с высокоскоростным режимом работы:

дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Бражник Юлия Викторовна. Белгород, 2017. 159 с.

5. Несмеянов Н.П., Ермаков С.Е., Рыбалка Е.А., Климов С.С. Состояние и направление развития смесительного оборудования // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVII. – 2018. – С. 249-252.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫХ ЭНЕРГООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Картыгин А.В., аспирант,

Белоус А.С., аспирант,

Зайцев М.С., магистрант

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

Дальнейший прогресс в области совершенствования технологии измельчения минерального сырья в барабанных мельницах связана с отчетливым пониманием механизма этого процесса. Только в этом случае могут быть созданы предпосылки для полезных усовершенствований конструкции барабанных шаровых мельниц, разработке методик по определению и поддержанию оптимальных технологических режимов измельчения, обеспечение мероприятий по снижению энергоемкости процесса. Без глубокого теоретического понимания механизма измельчения в шаровых мельницах невозможно оценить потенциальную экономию, содержащуюся в дальнейшем их совершенствовании [2, 3].

подавляющее большинство работ в области теории механики шаровых мельниц базируются на так называемых постулатах Дэвиса, где, как известно, вообще не рассматривается роль малоподвижного ядра (застойной зоны), сосредоточенной внутримельничной загрузки. Хотя, наличие застойной зоны в центре внутримельничной загрузки ни одним исследователем не отрицается, роль ее в механике шаровых мельниц до сих пор не определена [1].

С одной стороны, существует мнение, что "застойная зона" не играет никакой роли при формировании эпюры заполнения поперечного сечения барабана внутримельничной нагрузкой и является произвольной «мертвой зоной», с другой сходятся в возможности истирающего воздействия на измельчаемый материал со стороны малоподвижного ядра [1]. Для периодического разрушения мертвой зоны" в БГТУ им. В.Г. Шухова разработана новая конструкция внутримельничного устройства в виде ряда энергосберегающих футеровочных элементов (ЭФЭ) в форме «анти крыла», расположенных от поверхности футеровки в определенной последовательности [4, 5].

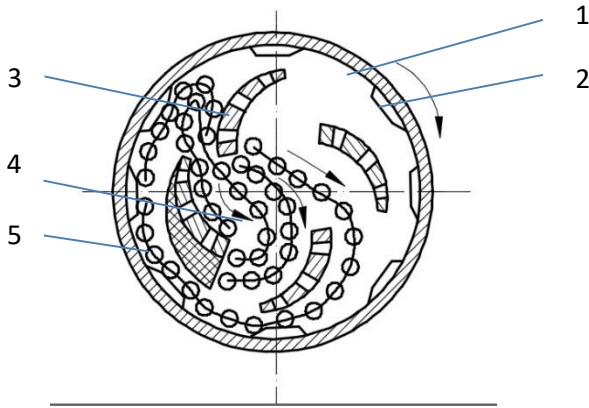


Рисунок 1. Энергообменные устройства, разрушающие «застойные зоны» мелющей загрузки

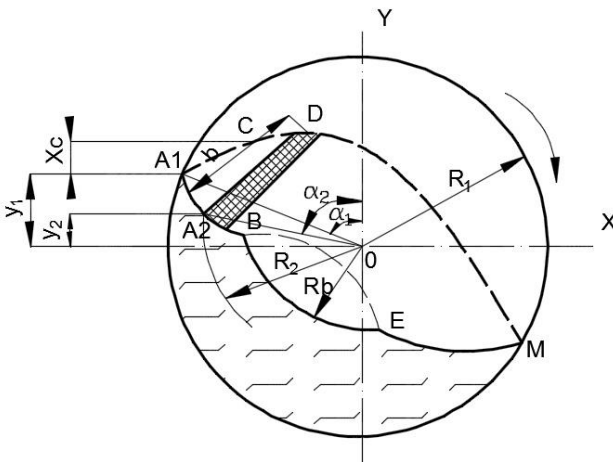


Рисунок 2. Геометрическое место точек перехода шаров с круговых траекторий на параболические траектории

Рассмотрим основные принципиальные признаки разработанных устройств. Внутри барабана 1 мельницы на расстоянии $\Delta R = (0.2 \div 0.4)R_H$ от поверхности футеровки 2 установлены лопастные устройства 3, разрушающие «застойную зону» 4 мелющей загрузки

5.(Рис. 1) В поперечном сечении мельницы устройства установлены по периметру барабаны, наклоненными в сторону его вращения, а в продольном сечении – по поясам, смешанным относительно друг друга на равные углы. Образующая каждого энергообменного устройства является частью логарифмической спирали.

С целью приблизить результаты опытных замеров мощности к расчетным Н.П. Неронов предложил считать за полезную мощность мельницы только мощность, потребляемую для подъема шаров точки падения на круговой траектории до точки перехода на параболическую траекторию.

Поэтому желательно увеличить высоту подъема шаров до максимума. Этому также способствует установка в мельнице ЭФЭ. Но ширину лопатки ЭФЭ необходимо подобрать такую, чтобы не было пробрасывания шаров по ходу вращения.

$$n = \frac{30 \cdot \sqrt{g}}{\pi \cdot \sqrt{R_1}} \cdot \sqrt{\cos \alpha_2} . \quad (1)$$

Зная, что частота вращения барабана, необходимая для того, чтобы шар перешел с круговой траектории радиуса R_1 на параболическую при угле отрыва α (рис. 2).

Отсюда

$$\cos \alpha_1 = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R_1}{900 \cdot g} . \quad (2)$$

для слоя шаров R_z

$$n = \frac{30 \cdot \sqrt{g}}{\pi \cdot \sqrt{R_2}} \cdot \sqrt{\cos \alpha_2} , \quad (3)$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R_2^2}{900 \cdot g} . \quad (4)$$

Зная, что угол α зависит от коэффициента заполнения $\langle p$ барабана мельницы шарами

$$\alpha_2 = \arccos k \cdot \varphi^2 . \quad (5)$$

При подстановке переменных значений $0.6 < k < 0.8$ и $0.3 < \varphi < 0.5$ в большинстве действующих мельниц, мы видим, что α_1 и α_2 мало отличаются, то принимаем $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$.

Проекция координат точек перехода А и А₁ на вертикальную ось

$$y_1 = R_1 \cdot \cos \alpha_1 = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R_1^2}{900 \cdot g}. \quad (6)$$

$$y_2 = R_2 \cdot \cos \alpha_2 = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R_2^2}{900 \cdot g}. \quad (7)$$

Разница между этими высотами

$$\Delta y = y_1 - y_2 = \frac{\pi^2 \cdot n^2}{900 \cdot g} \cdot (R_1^2 - R_2^2). \quad (8)$$

Максимальная вертикальная координата наружного слоя шаров

$$y_e = y = \frac{1}{2} \cdot R_1 \cdot \sin^2 \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1. \quad (9)$$

Определим суммарную проекцию на ось у-у от точки С до А₂

$$\sum y = \Delta y + y_e = \frac{\pi^2 \cdot n^2}{900 \cdot g} (R_1^2 - R_2^2) + \frac{1}{2} \cdot R_1 \cdot \sin^2 \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1. \quad (10)$$

Отсюда приблизительно определим ширину слоя шаров перешедшего с круговой траектории на параболическую и примем за ширину лопатки ЭФЭ (касательная из точки А₂ радиуса R₂).

$$b = \frac{\sum y}{\sin \alpha_2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot n^2}{900 \cdot g} (R_1^2 - R_2^2) + \frac{1}{2} R_1 \cdot \sin^2 \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1}{\sin \alpha_2}, \quad (11)$$

а так как $\frac{\pi^2 \cdot n^2}{900 \cdot g} = \frac{\cos \alpha_1}{R_1}$, то

$$b = \frac{\frac{(R_1^2 - R_2^2) \cos \alpha_1}{R_1} + \frac{1}{2} \sin^2 \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \left[\frac{(R_1^2 - R_2^2)}{R_1} + \frac{R_2}{2} \cdot \sin^2 \alpha_1 \right] \cdot \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_2}. \quad (12)$$

Применение этого внутримельничного устройства желательно в шаровых барабанных или в первой камере трубных мельниц для первой стадии мокрого измельчения твердых пород, где необходимо разрушение материала преимущественно ударом. Установка данного устройства потребует незначительной реконструкции существующих мельниц и позволит увеличить производительность на 8...10% и снижение энергозатрат на 10...15%.

Библиографический список:

1. Марюта А.Н. Математические и физические закономерности механики движения материала в барабанных мельницах. Труды 17-го международного симпозиума по применению ЭВМ и математических методов в горных отраслях промышленности, - М; 1980. - т.7. - С. 104-116.
2. Оленевский В.А. Справочник по обогащению руд, - М. Недра, 1982.
3. Пироцкий В.З. Совершенствование техники и технологии измельченного портландцементного клинкера: оценка эффективности помольных систем // Сборник трудов НИИцемента, 1986, вып. 90, с. 3-23.
4. Зеленков С.Ф., Гавриленко А.В., Агафонова О.А. Энергосберегающее внутримельничное устройство // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XI. – 2012. – С. 187.
5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г. Особенности снижения энергозатрат при помоле цемента в барабанных шаровых мельницах // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVIII. – 2019. – С. 250-252.

СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ТРУБНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Денисова Е.М., аспирант,

Королева Л.А., аспирант

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

В период экономического и энергетического кризиса особое значение приобретают вопросы повышения эффективности работы существующего оборудования. Рассмотрим основные направления по повышению эффективности работы помольного оборудования, основанные на анализе свойств измельчаемого материала и режимов работы мельющей загрузки.

Первое направление – это максимальный размер кусков подаваемого в мельницу материала

Известно, что с уменьшением размера частиц напряжения для их разрушения возрастают. Это связано с наличием в крупных частицах микротрещин, несовершенством их кристаллической решетки, дислокациями и т.д. По мере увеличения диаметра частиц напряжения для их разрушения уменьшаются и с определенного диаметра становятся постоянными [1, 3].

Поэтому целесообразно за расчетную разрушающую силу $P_{\max}$ для всех фракций клинкера (мелких и крупных) принять максимальное значение разрушающей силы $P_{\max}$ для наиболее прочной фракции d_k ,

Тогда

$$P_{\max} = \sigma_n \cdot F_k \quad (1)$$

где σ_n - величина наименьшего напряжения разрушения, начиная с которого напряжение не изменяется, т.е. не зависит от диаметра частицы.

F_k - площадь сечения начальной крупной частицы, с которой напряжения разрушения не изменяются.

С учетом числа контактируемых частиц окончательная расчетная зависимость имеет вид

$$d_k = \sqrt{\frac{5.6 \cdot P_{\max}}{0.78 \cdot \sigma_n}} \quad (2)$$

Для реализации этого направления необходимо использовать различные предизмельчители.

Второе направление – это предварительная крупность трудноразмалываемого компонента при помоле многокомпонентных цементов. В настоящее время вопрос получения высоких марок цементов решается за счет уменьшения производительности мельниц. В формулу определения производительности входит коэффициент тонкости помола. Чем меньше остаток на сите 008, то есть чем выше марка цемента, тем меньше этот коэффициент и соответственно производительность.

С целью ликвидации этого недостатка автор предлагает следующее.

Известно, что согласно ГОСТ(у), марка цемента определяется по содержанию фракции +5-30 мкм (активность цемента, т. е. прочность на сжатие в МПА почти совпадает с %-ным содержанием фракции +5-30 на сите 008). Известно также, что клинкер при движении его в колосниковом холодильнике разделяется на две фракции - мелкую в виде просыпа (менее ширины щели равной 6-7 мм) и крупную в виде надколосникового продукта. Обычно количество просыпа может колебаться от 15% до 50%.

В связи с этим можно записать

$$Q_{Ma} + Q_{Kb} = K \cdot (Q_M + Q_K), \quad (3)$$

где Q_M и Q_K - количество мелкой и крупной фракций, т/час:

а и b - количество фракции +5-30 мк (%) в готовом продукте при питании мельницы только мелкой фракцией (просыпом) и только крупной (надколосниковой);

K - заданное, согласно требуемой марки цемента, количество фракции +5-30 мк (%) в готовом продукте

Очевидно, что производительность мельницы Q составляет

$$Q = Q_M + Q_K \quad (4)$$

После подстановки (4) в (3) получаем

$$K = \frac{Q_M \cdot a + (Q - Q_M) \cdot b}{Q} \quad (5)$$

Для нахождения а и b в мельницу при 100%-ном заполнении пустот между шарами подают соответственно только мелкую фракцию, а затем только крупную и измеряют соответствующее количество фракции +5-30 мк в готовом продукте. С этой целью

просып и надколосниковую крупную фракцию не смешивают в конце холодильника, как это делают сейчас, а направляют одним существующим пластинчатым конвейером на раздельное хранение. Для этого достаточно каждую ячейку пластинчатого конвейера разделить перегородкой на две части: одну - для мелкой фракции (просыпа), другую - для крупной (надколосниковой). Таким образом, варьируя соотношением a и b можно получать любые значения K , т.е. и соответствующие марки цемента.

Третье направление – это определение места возврата крупки после сепаратора.

Одним из недостатков, сдерживающих широкое внедрение замкнутого цикла в промышленность, является не оптимальное расположение места возврата крупной фракции материала (крупки) после сепаратора в мельницу.

Известен помол в замкнутом цикле с использованием обычной трубной мельницы и сепаратора, когда крупка из сепаратора возвращается или непосредственно на питатель как добавка к основному потоку подаваемого на измельчение материала или, минуя питатель, прямо в загрузочную точку мельницы. Недостаток такого возврата очевиден: крупка из сепаратора представляет собой гораздо более мелкую фракцию, чем основной поток свежего не измельченного материала. Поэтому крупка сама переизмельчается, а основной поток недоизмельчается, что ухудшает эффективность работы мельницы и качество готового продукта [4].

С целью ликвидации указанных недостатков автор предлагает крупку после сепаратора подавать внутрь мельницы на то место, где согласно диаграмме помола, находится максимальное количество частиц измельчаемого материала такого же среднего размера, как и крупка из сепаратора.

Указанная цель достигается тем, что частицы крупки подают на тот по длине мельницы где согласно диаграмме помола находится максимальное количество частиц такой же крупности как и крупка из сепаратора. Частицы подают сжатым воздухом в зону тонкого измельчения через зону грубого, сообщая им на входе в мельницу начальную скорость 0,5-25 м/с, причем расход воздуха изменяют прямо пропорционального количеству и обратно пропорционально среднему размеру частиц крупки.

Четвертое направление – это предварительная крупность трудноразмалываемого компонента.

Известно, что измельчение порошка, состоящего из трудно- и легкоразмалываемого компонентов эффективно, когда

трудноразмалываемый компонент предварительно измельчен до промежуточной дисперсности. К моменту подачи легкоразмалываемого компонента трудноразмалываемый компонент должен иметь уже определенную промежуточную тонкость помола, являющуюся оптимальной для последующего совместного измельчения. В результате этого совместный помол идет в течение времени, необходимого для полного измельчения трудноразмалываемого компонента, имевшего перед помолом промежуточную тонкость [2].

Предлагаемая автором методика расчета основана на учете влияния абразивных свойств частиц трудноразмалываемого компонента и использования их как дополнительных мелющих тел к основной мелю- л загрузке, выявления фракций, обладающих максимальными абразивными свойствами для нанесения микроповреждений частицам легкоразмалываемого компонента, что дает интенсификацию их разрушения, т.е. повышает тонкость помола; снижает энергоемкость процесса измельчения и уменьшает трудоемкость определения величины оптимальной промежуточной дисперсности. Поставленная цель достигается тем, что совместное измельчение трудно- и легкоразмалываемого компонентов ведут так, чтобы максимальное количество каждого компонента достигало одновременно следующие дисперсности: 0,2 – 0,8 мм для трудноразмалываемого компонента и 0,28-1,00 мм для легкоразмалываемого, Указанные дисперсности материалов характеризуются наибольшей абразивностью частиц.

Пятое направление – это новый пульсирующий режим работы мелющей загрузки.

Известно, что для измельчения крупных частиц применяют водопадный режим, а для мелких - каскадный. Так как в каждом поперечном сечении по длине мельницы находятся одновременно и крупные и мелкие частицы, то пропорционально их соотношению должны изменяться и режимы работы загрузки. Поставленная задача решается тем, что в способе, использующем водопадный и каскадный режимы работы, водопадный режим работы изменяют вдоль мельницы соответственно диаграмме помола, построенной по полным остаткам на сите, размер ячеек которого равен размеру частиц измельчаемого материала, требующих измельчения истиранием, что соответствует 50% проходу материала через сито с ячейками 80 мкм (например, для клинкера это 0,5мм), т.е. угол отрыва

мельющих тел от футеровки (при отсчете от верхней точки вертикали-диаметра корпуса мельницы) изменяют вдоль корпуса мельницы в диапазоне от 35° до 65° соответственно вышеуказанной диаграмме помола, что равнозначно аналогичному изменению коэффициента сцепления мельющих тел с футеровкой от 0,6 до 0,3.

Аналогично необходимо, чтобы и в поперечном сечении мельницы мельющие тела работали в течение каждого оборота то в водопадном, то в каскадном режиме пропорционально количеству частиц, требующих измельчения ударом и истиранием. Соотношение количества этих частиц можно определить из диаграммы помола, построенной по остаткам на сите, размер ячеек которого соответствует граничному размеру частицы, требующей измельчения истиранием. Тогда ординаты под и над диаграммой помола покажут количество соответственно крупных и мелких частиц, пропорционально которым изменяют соотношение длин участков футеровки с высоким и низким коэффициентами сцепления.

Для перехода к периодическим мельницам нужно длину шаровой камеры корпуса мельницы заменить на время работы мельницы в водопадном режиме T_v , а длину корпуса мельницы на полное время измельчения, т.е. на период измельчения T .

Частоту вращения барабана в течение первой трети периоде выдерживают в пределах 0,78-0,88 от критической (для работы мельющей загрузки в водопадном режиме), а в течение последующих двух третьих периода - в пределах 0,65-0,75 от критической частоты (для работы мельющей загрузки в каскадном режиме). Таким образом

$$T_v = 0.3T. \quad (6)$$

Шестое направление – это оптимальная структура потока движения материала в мельнице.

Известно, что в последние годы для расчета трубных мельниц успешно применяют новую "кибернетическую" методику, по которой мельница рассматривается как аппарат с определенной структурой потока материала. Наиболее производительной считается модель "идеального" вытеснения, когда время пребывания всех частиц в аппарате одинаково. Однако это условие еще не гарантирует равенства скоростей частиц по длине, что подтверждает и теория и практика. За одно и тоже время материал может пройти больший или меньший путь с соответствующим увеличением или уменьшением скорости, что отрицательно отразится или на качестве продукта или на производительности мельницы.

С целью реализации модели «идеального вытеснения» автор предлагает продвижение материала вдоль корпуса мельницы осуществлять с одинаковой скоростью. Для достижения этой цели автором разработаны: регулирующая спиральная футеровка с переменным углом наклона спирали; подача ПАВ на различные участки по длине мельницы; наклонные перегородки.

Все рассмотренные пути интенсификации работы шаровых и трубных мельниц не требуют значительных капитальных вложений и могут быть реализованы в условиях работающих цементных заводов.

Библиографический список:

1. Несмеянов Н.П., Ведрицкий В.В., Харин А.И. Интенсификация процесса измельчения клинкера в трубных шаровых мельницах. Вестник БелГТУ им. Шухова, №6, 2003. – С. 330-333.
2. Несмеянов Н.П., Картыгин А.В., Магомедов Р.Р. Повышение эффективности процесса измельчения в цементных мельницах на основе рационального использования энергии мелющих тел // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVI. – 2017. – С. 253-256.
3. Дешка Ю.И., Крыхтген Г.С., Креймер М.Б. Измельчение метариалов в цементной промышленности. – М.: Стройиздат, 1964. – 275 с.
4. Крюков Д.К. Усовершенствование размольного оборудования горно-обогатительных предприятий. – М.: Недра, 1966. 174 с.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ МАТЕРИАЛОМ БАРАБАНА ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РАБОТЫ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Картыгин А.В., аспирант,

Белоус А.С., аспирант

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

В мельницах существующих конструкций не изучено влияние степени заполнения барабана шламом на процесс измельчения. В то время как показал Разумов объем шлама в барабане мельницы существенно влияет на ее производительность. Потребляемая полезная мощность зависит от объема шлама, находящегося в барабане мельницы [1].

Анализ условий потребления шаровой загрузкой полезной мощности позволяет сделать вывод о необходимости поддерживать в барабане мельницы определенный объем шлама. Этот объем практически равен объему, насыщающему зону размола шаровой загрузки. В первом приближении можно считать, что он равен объему шлама, вовлекаемой во вращательное движение шаровой загрузкой. При этом максимально потребление полезной энергии и соответственно наиболее эффективно использование рабочего объема мельницы [2].

Из предыдущих исследований знаем, что, если в мельнице с центральной разгрузкой уровень шлама опустить до уровня шлама в мельнице с решеткой, производительность ее при применении в I стадии измельчения возрастет на 14—24% при повышении потребляемой мощности на 19—37%. Низкий уровень шлама в мельнице с решеткой сохраняется благодаря наличию лифтерного отделения, непроизводительно занимающего 10—12% объема мельницы. Если сохранить обычный в этой мельнице уровень шлама с помощью другого разгрузочного устройства, этот объем можно использовать под собственно измельчение, увеличив пропорционально потребляемую мощность.

В целом в мельницах конструктивно должна быть обеспечена возможность поддержания рационального уровня шлама. Объем шлама - определяющий фактор при автоматизации процесса. Поддерживать заданный низкий уровень шлама при определенных условиях можно только в мельницах с решеткой. Однако в период эксплуатации живое сечение решетки изменяется (износ, забивка отверстий и др.) и уровень

шлама в барабане в связи с этим также не сохраняется постоянным, поэтому необходимо поднять из шлама подстилающий слой шаров. Исходя из того, что рациональное заполнение мельницы шламом должно соответствовать максимальной полезной мощности шаровой загрузки $N_{ш} + N_{мр.п}$ при $\varphi_{п} < \varphi_{п}^{max}$ разработана рациональная конструкция мельницы, обеспечивающая максимальное использование объема барабана и энергии ударов шаров.

В новой конструкции мельницы обеспечение необходимого объема пульпы в барабане и высокой энергоемкости шаровой загрузки происходит при использовании полного объема барабана [3, 4].

Схема предлагаемой модернизации мельницы предполагает расположить на определенном расстоянии над футеровкой лопасти в виде антикрыла, которые позволяют поднять из шлама подстилающий слой шаров.

Определим наиболее эффективный диаметр расположения лопаток. Положение нижней кромки лопатки должно исключить заклинивание шаров между лопаткой и корпусом мельницы. При этом шары при вращении мельницы не должны падать в объем шлама, поглощающей их энергию, а должны соударяться при минимальной, покрывающей все шары, прослойке шлама.

Из визуального наблюдения за процессом, анализе фотографий и кадров видеосъемки следует, что при обычных частотах вращения мельницы шары падают не на поверхность футеровки, а на подстилающий слой шаров, который образуется в связи с отскакиванием шаров, в направлении противоположном направлению вращения. Высота расположения лопатки не должна обнажать подстилающий слой, так как шлам в этом случае не будет покрывать шары данного слоя.

Толщину подстилающего слоя можно оценить по фотографиям вращающейся мельницы. Определяющей точкой может служить точка резкого изменения направления движения крайних падающих шаров. Эта точка свидетельствует о том, что шар, встретившись с препятствием (подстилающим слоем), прекратил падение и отскочил в сторону, противоположную вращению мельницы, либо начал вращаться вместе с мельницей.

Анализ фотоснимков показывает, что высота подстилающего слоя при обычных режимах работы в среднем составляет 0,1-0,2D мельницы. Высота расположения лопатки, таким образом, должна находиться в пределах 0,2-0,3D. Рациональной длиной мельницы для I стадии измельчения в соответствии с приведенным выше анализом следует счи-

тать длину $L < JD$. Такая мельница пригодна как для шарового, так и для галечного измельчения и может рассматриваться как унифицированная конструкция для всех стадий измельчения взамен существующих мельниц с решеткой и с центральной разгрузкой.

Производительность мельницы с ЭФЭ будет на 10-12% выше чем мельницы без ЭФЭ, при снижении удельного расхода энергии на 4- 10%.

Эффективность работы мельницы должна возрасти за счет постоянного оптимального уровня шлама. Ожидается снижение расхода футеровки и шаров.

Библиографический список:

1. Шинкоренко С.Ф. “Технология измельчения руд черных металлов”. М. “Недра”, 1982.
2. Утеуш Э.В., Утеуш З.В. “Основы автоматизации измельчения материалов в шаровых мельницах”. М. Химия, 1968.
3. Зеленкое С.Ф., Струков В.Г. “Энергосберегающие внутримельничные устройства”. Полтава, 1996.
4. Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Тачмаммедов К., Картыгин А.В. Влияние мелющей загрузки на энергетическую эффективность работы мельниц // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVI. – 2017. – С. 188-191.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ВИБРОСОРТИРОВКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Каторгин И.С., магистрант,

Гунченко О.Ю., магистрант

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

В строительной индустрии наибольшее распространение получила классификация материалов по крупности частиц. С ее помощью решаются следующие технологические задачи:

- выделение из материала частиц, размер которых не удовлетворяет заданным требованиям (больше или меньше допустимой величины);
- разделение измельченного материала по крупности на несколько фракций.

Классификация материалов по крупности реализуется такими способами сортировки как механический, гидравлический, воздушный.

Механическая классификация (грохочение) заключается в разделении материалов по крупности на просеивающих поверхностях с отверстиями. Машины и устройства, используемые для грохочения, называют грохотами [1, 2].

Качественную сторону механической сортировки характеризует степень разделения исходного материала по классам крупности - эффективность грохочения, с которой часто отождествляют понятия «точности отсева», «тщательности просеивания», «коэффициента качества», КПД извлечения.

Эффективность E определяются формулами (1) и (2)

$$E = \frac{(c_2 - \beta) \cdot 10^4}{c_2 \cdot (100 - \beta)} \%, \quad (1)$$

$$E = \frac{\left[c_2 - \frac{c_1 - c_1}{c_1} (100 - c_2) \right] \cdot 100}{c_2} \%, \quad (2)$$

где P - содержание зёрен нижнего класса в надрешётном продукте;
 c_1 и c_2 - соответственно содержание зёрен верхнего и нижнего классов в исходном материале, (%);

c_1 и c_2 - соответственно выхода надрешётного и подрешётного

продуктов, (%).

Количественным показателем процесса грохочения является его производительность. Для расчёта производительности З.А. Бауман [2] предложил следующую формулу, отражающую наиболее важные зависимости Q от других величин.

$$Q = q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где Q - производительность 1 м² сита, м³/час, для данного материала;

q - удельная производительность для средних условий грохочения, м³/час·м²;

K_1 - коэф., учитывающий содержание нижнего класса в исходном материале;

K_2 - коэф., учитывающий влажность материала;

K_3 - коэф., учитывающий способ грохочения (сухой, мокрый).

Данная формула действительна для любых сит при условии постоянства их длин и обеспечивает эффективность грохочения в пределах $E=84 \div 97\%$.

Исследования данной формулы показали:

1. Эффективность грохочения при увеличении производительности вначале возрастает и после достижения максимума резко снижается.
2. Пропорциональность производительности площади сит сохраняется для различных соотношений длины и ширины сит.
3. Значение коэффициента K_i не зависит от апертury сит.

Структура зависимости эффективности грохочения от различных величин представляется аналогичной структуре формул производительности, что диктует необходимость отдельного расчёта обоих параметров.

Сложный характер зависимостей параметров грохочения определил в основном эмпирический подход к их выявлению. Несмотря на большое количество работ, посвящённых этому вопросу, в литературе ещё нет чётких указаний о выборе оптимальных технологических параметров грохочения, а рассмотренные выше рекомендации, порой противоречивы.

Трудности учёта большого количества переменных факторов, характеризующих процесс, не позволяют теоретически ответить на все

вопросы, связанные с управлением процесса грохочения.

Наметившаяся в связи с этим тенденция корреляционного анализа экспериментальных уравнений также оказалась не в состоянии обеспечить необходимой точности результатов.

Вследствие этого существующие методы расчёта технологических параметров оказываются применимы только для ориентировочных расчётов.

В связи с этим большое значение приобретают экспериментальные исследования, уточняющие теоретические положения.

И.Ф. Гончаревич, З.Д. Земсков, В.И. Корешков, А.О. Спиваковский исследовали зависимости скорости вибротранспортирования от различных кинематических параметров вибротранспортной установки [4].

Было установлено, что ускорение и скорость грузонесущего органа однозначно не определяют скорости транспортирования, но они могут быть связаны при данных условиях вибротранспортирования.

К агрессивным факторам, непосредственно сказывающимся на размерах зёрен и ячеек сит, можно отнести активность клейких примесей, связующее и комкующее действие влаги. Эти факторы решающим образом отражаются на физико-механических свойствах смеси, ухудшая её сыпучесть и воздухопроводность, и на состоянии сеющей поверхности, вызывая замазывание её ячеек.

К аналогичному результату приводят и неблагоприятные условия загрузки сита материалом, когда просеивающие контакты зёрен с ситом нарушаются в результате взаимодействия в слое между собой самих зёрен (при перегрузке) или когда число контактов уменьшается в результате интенсивного беспорядочного разбрасывания зёрен по ситы (при недогрузке).

Создавая специфический оттенок в свойствах грохотимого материала, помехи выводят данный случай грохочения в самостоятельный вопрос: насколько эффективно можно совместить на грохоте одновременно операции разрушения вязкой структуры смеси, очистку сита и собственно сортировку. Отсюда, выбор оптимального режима грохочения связывается с необходимостью учёта искажений вероятностных свойств зёрен смеси и степени механического воздействия на эти искажения со стороны грохота.

Принципиальное различие состояний материалов при наличии в них

влаги и без неё с точки зрения способности материала к рассеву усматриваем в возникающем под действием влаги фактическом изменении гранулометрического состава материала (увеличение крупности зёрен за счёт налипших частиц). Неопределённость этих изменений делает, следовательно, условными все рассуждения, основанные на понятии вероятности просеивания зёрен, при распространении их на влажный материал [3, 5].

Воздействия, зависящие от условий загрузки сита материалом, регулируемы. Они, по существу, и обуславливают оптимальную производительность грохочения.

Определяя закономерности расслоения и прохождения зёрен через сито, ученые разработали статистическую теорию грохочения, согласно которой беспорядочно блуждающие в разрыхлённом слое зёрна оседают, просеиваются или отражаются от сита в соответствии с законами вероятности.

Автор находит и использует аналогии явлений, происходящих при данном (стохастическом) процессе, с явлениями распространения тепла в шаре, диффузией вещества в жидкости. В результате получаются уравнения кинетики грохочения, содержащие параметры, определяющие кинематику и загрузку грохота.

Однако применимость данных выводов ограничена необходимостью более полного анализа выявленных закономерностей и специальных экспериментальных исследований.

Библиографический список:

1. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов. – Москва: Недра, 1985. – 285 с.
2. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве: учеб. пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов. – Москва: Высшая школа, 1977. – 255 с.
3. Вайсберг Л.А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов. – Москва: Недра, 1986 – 144 с.
4. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологии. – Москва: Наука, 1981. – 319 с.
5. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2005. – 250 с.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ В СМЕСИТЕЛЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Каторгин И.С., магистрант,

Скворцов Д.С., магистрант

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

До настоящего времени процесс смешивания многокомпонентных материалов в смесителях непрерывного действия остается недостаточно изученным, что обусловлено сложностью данного процесса и трудностью определения траекторий движения частиц смеси под воздействием внешних и внутренних сил. Отсутствует четкая и всеобъемлющая модель процесса смешивания.

Эти обстоятельства и определяют задачу настоящей работы, включающей в себя два частных и противоположных процесса: смешивание и сепарирование частиц.

Необходимость решения данной задачи вызвана рядом обстоятельств. Во - первых, ввиду отсутствия четко и обоснованно сформулированных закономерностей процесса непрерывного смешивания до настоящего времени не существует единой методики расчета и проектирования смесителей непрерывного действия. Во - вторых, несмотря на принципиальную общность процесса непрерывного смешивания и конструкций смесителей непрерывного действия, последние изобилуют множеством моделей и модификаций, имеющих порой несущественные и необоснованные конструктивные отличия. В - третьих, при создании новых моделей смесителей в процессе проектирования практически не используются системы автоматизированного проектирования [1, 2].

Указанные обстоятельства ставят помимо чисто инженерных задач необходимость решения научных проблем. Предполагается на основе глубокого зализа существующих конструкций смесителей непрерывного действия, используя математическую модель процесса непрерывного смешивания, принципы унификации и теории подобия, разработать образ - прототип смесителя непрерывного действия, описываемый соответствующей математической моделью, позволяющей разработать САПР для получения пакета конструкторской документации, необходимой для изготовления любой модели смесителя из

унифицированного ряда подобных смесителей [3].

Предполагаемая модель представляет собой систему уравнений, решение которой позволяет рассчитать координаты каждой частицы в любой момент времени, их направление движения и другие параметры и показатели процесса смешивания. В итоге данная модель позволяет оптимизировать и подобрать наиболее рациональные конструктивно – технологические параметры как процесса смешивания, так и самой машины, т.е. смесителя.

Решение задачи создания модели возможно лишь с использованием ЭВМ и включает следующие этапы:

1. Рассматривают общие принципы построения модели. При этом принимаются некоторые допущения: частицы имеют форму шара, модель в первом приближении является двухмерной. На данном этапе производится расчет количества частиц и определяется их исходное положение.
2. Определяют координаты и скорости частиц в начальный момент времени
3. Рассматривают взаимодействие частиц с корпусом смесителя и лопастью, а также между собой. Данный раздел включает в себя: расчет времени движения частицы до соударения с корпусом, расчет ударного взаимодействия частицы с корпусом, расчет времени движения частицы до соударения с лопастью, расчет ударного взаимодействия частицы с лопастью, расчет времени движения частиц до соударения друг с другом, расчет ударного взаимодействия частиц между собой.

Предполагаемая модель процесса смешивания в смесителях непрерывного действия позволяет рассчитать производительность, энергоемкость и качество смеси, как функции от различных варьируемых параметров, частоты вращения лопастных валов, длины зоны смешивания, количества, формы и схемы установки лопастей на валах, размеров рабочего органа и др.

Задачей оптимизации параметров процесса является разработка критериев оптимальности и получения соответствующих оптимальных решений.

Адекватность модели предполагается подтвердить экспериментальным исследованием, в программу которого входит исследование характера распределения частиц смеси различных размеров в зоне смешивания и однородности смеси в зависимости от различных параметров процесса смешивания и конструктивных особенностей смесителя.

В качестве экспериментальной установки используют уменьшенную в два раза натурную модель одновального смесителя непрерывного действия с прозрачными стенками, что позволит визуально фиксировать положение частиц смеси в ее объеме в любой момент времени.

В качестве смешиваемых материалов применяют частицы шарообразной формы размерами 20 и 5 мм. различной плотности. Для оценки однородности смеси используют степень ее сепарации - центральный абсолютный момент статистической плотности распределения физической плотности компонентов смеси по всему рассматриваемому объему, при этом физическая плотность компонентов на участке смеси определяется не их массой, а количеством их на данном участке. Степень сепарации смеси в пробе определяют из выражения, %,

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_i - \bar{Z}|}{\bar{Z}sm} \cdot 100, \quad (1)$$

где n - число смешиваемых компонентов, Z_i - количество i - го компонента в пробе; $\bar{Z}$ - проектное количество i -го компонента в пробе; $\bar{Z}sm$ - проектное количество всех компонентов в пробе.

Расчет количества частиц производится по следующей методике:

1. Исходными данными для расчета являются:
 - количество компонентов смеси (i)
 - крупность частиц (d_i)
 - процентный состав компонентов (p_i).
2. Определение площади, занимаемой материалом в смесителе:

$$S_m = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \cdot \varphi; \quad (2)$$

где d_n - диаметр наружной описываемый лопастью, мм; φ - коэффициент заполнения смеси материалом.

3. Определение площади занимаемой каждым компонентом:

$$S_i = S_m \cdot \frac{p_i}{100}; \quad (3)$$

где S_m - площадь материала в смесителе; p_i - процентный состав компонентов

4. Определение площадей сечений частиц:

$$S_{chi} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}; \quad (4)$$

где d_i – крупность частиц.

5. Определение площадей незаполняемого пространства между частицами (см. рис. 1).

$$S_{mnk} = S_{ABC} - 3 \cdot S_{nBm}; \quad (5)$$

где S_{ABC} - площадь треугольника ABC; S_{nBm} - площадь треугольника nBm;

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} \cdot d_i^2 \cdot \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot d_i^2; \quad (6)$$

где d_i – крупность частицы;

$$S_{nBm} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{24}; \quad (7)$$

Подставляя в формулу для нахождения S_{mnk} получим:

$$S_{mnk_i} = 0.040 \cdot d_i^2; \quad (8)$$

В поперечном сечении к каждому шару примыкают по два промежутка mnk , исходя из этого:

$$S_i = N_{chi} \cdot (S_{chi} + 2 \cdot S_{mnk}); \quad (9)$$

где N_{chi} – количество частиц i – го компонента;
отсюда:

$$N_{chi} = \frac{S_i}{(S_{chi} + 2 \cdot S_{mnk})}; \quad (10)$$

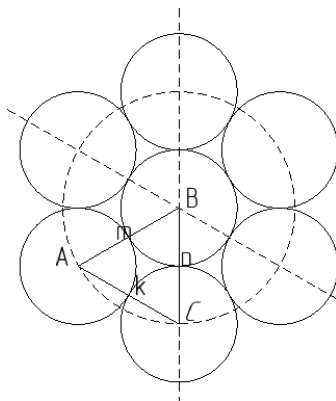


Рисунок 1. Расчетная схема

Реологические свойства смеси в первом приближении оцениваются введением в уравнения коэффициента трения и коэффициента восстановления при ударе

Математическая модель позволит разработать методику расчета, и программное обеспечение, с помощью которого можно получать оптимальные значения варьируемых параметров смесителей и процесса смешивания для смесей различных реологических свойств и решать задачи унификации смесителей непрерывного действия.

Библиографический список:

1. Основы вариационных методов оптимизации производственных процессов/ Под ред. М.В. Бунина. – Х. Изд-во при Харьк. ун – те, 1982.- 144 с.
2. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: учебник – М.: Издательский дом «Альянс», 2009. – 368 с.
3. Несмеянов Н.П., Ермаков С.Е., Рыбалка Е.А., Климов С.С. Состояние и направление развития смесительного оборудования // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVII. – 2018. – С. 249-252.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

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

Бражник Ю.В., канд. техн. наук, доц.,

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Королева Л.А., аспирант,

Денисова Е.М., аспирант

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

Одним из способов создания благоприятных условий в измельчении является применение в качестве интенсификаторов помола (ИП) поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Так, при производстве цемента, широкое распространение получили способы помола портландцементного клинкера с добавками, причём ПАВ вводятся в мельницу непосредственно с измельчаемым материалом. Интенсификатор помола подается на измельчаемый материал (на тарельчатый питатель) в количестве 0,01-0,025 от его массы. Это обеспечивает повышение производительности помольного агрегата на 5-12% [1, 3].

Если добавка вводится в твердом виде в начале процесса измельчения, то эффективность размола повышается главным образом за счет предотвращения или уменьшения агрегирования и налипания. Действия ПАВ проявляется в области тонкого измельчения при достаточно высоких значениях удельной поверхности размалываемого материала. В этом случае влияние количества вводимой добавки наблюдается в широких пределах.

В последнее время всё большее распространение получает способ подачи интенсификаторов помола распылением в первой камере мельницы. С использованием указанного способа подачи ПАВ производительность мельницы возрастает в среднем на 17-25%.

Принято считать, что при использовании ПАВ эффективность процесса измельчения обеспечивается за счет адсорбционного воздействия ПАВ на частицы измельчаемого материала, хемосорбции, диспергирования, расклинивающего действия, предотвращения агрегирования и налипания. При этом допускается, что такой механизм действия возможен при условии, когда все частицы измельчаемого материала покрыты тонкой молекулярной плёнкой ПАВ.

Характерной особенностью работы помольных агрегатов является наличие застойных зон достаточно больших объемов. Полезный объем барабана мельницы используется на 25-35%. При этом застойные зоны и зоны с минимальной интенсивностью движения мелющих тел достигают 75% при водопадном и 80% при каскадном режимах измельчения. Следовательно, поверхностно-активные вещества в этой зоне не оказывает влияния на эффективность процесса измельчения, либо это влияние не существенно. Поэтому повышение эффективности действия интенсификаторов помола возможно либо за счет рационального их использования, либо за счёт применения внутримельничных энергообменных устройств.

Проведенные нами исследования влияния способов подачи ПАВ на эффективность процесса измельчения подтверждает мысль о том, что, не изменяя количества ПАВ, необходимо осуществлять его подачу в те зоны работы загрузки, где происходит наибольший обмен энергией между мелющими телами (МТ) и измельчаемым материалом с последующим равномерным распределением ПАВ по объему измельченного материала [2].

Исследования проводились на лабораторной мельнице со ступенчатой футеровкой на клинкере Белгородского цементного завода.

В ходе экспериментов (рис. 1) установлено, что производительность мельницы ($R_{008}=10\%$) при помоле клинкера без введения ПАВ составила $2,32 \cdot 10^{-3}$ кг/с, а при подаче ПАВ вместе с материалом производительность возросла до $2,45 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Если ПАВ вводится в мельницу традиционным способом, т.е. распылением по центру, то производительность возрастает на 9%.

Наибольшая производительность достигается при подаче ПАВ непосредственно на футеровку и в зону падения мелющих тела (рис. 1). Следовательно, подтверждаются наши предположения о том, что интенсификатор помола необходимо подавать в места наиболее интенсивного обмена энергией между материалом и мелющими телами. Анализ влияния способа подачи ПАВ на изменение удельных энергозатрат (рис. 2) подтвердил эффективность разработанного способа подачи интенсификатора помола в мельницу.

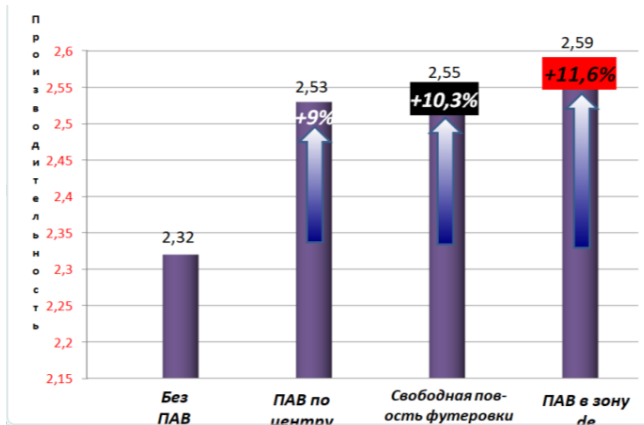


Рисунок 1. Зависимость производительности трубной шаровой мельницы от способа подачи ПАВ

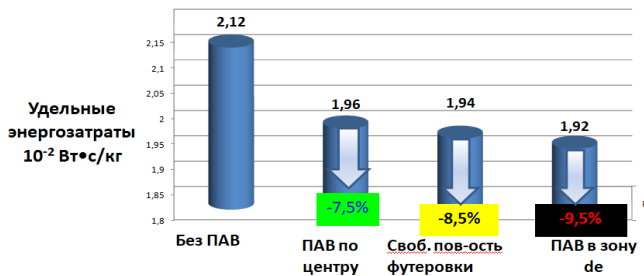


Рисунок 2. Зависимость удельных энергозатрат от способа добавления ПАВ в трубную шаровую мельницу

На кафедре механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова разработано оборудование и получен, на его основе, принципиально новый интенсификатор помола клинкера и добавок - "КАВО-37", который обеспечивает высокую эффективность процесса измельчения материала в трубных шаровых мельницах [4].

Интенсификатор помола "КАВО-37" применяется вместо традиционно используемых в настоящее время на цементных заводах

поверхностно - активных веществ (ТЭА, ЛСТМ-1, ЛСТМ-2, "InCem" E500, "SiKaGrind-800", "Литопласт серии И" и др.), которые являются отходами химической промышленности.

Результаты применения "КАВО-37" на промышленной мельнице $\phi 3,2 \times 15$ м ЗАО «Белгородский цемент» (рис. 3) показали высокую его эффективность. При этом пределе прочности цементного камня возрастает в среднем на 15.25%.

Интенсификатор помола "КАВО-37" обеспечивает благоприятные физико-химические условия помола цемента, повышает эффективность процесса измельчения клинкера за счет адсорбционного понижения его сопротивляемости размолу, а так же благодаря уменьшению налипания и агрегирования частиц измельчаемого материала.

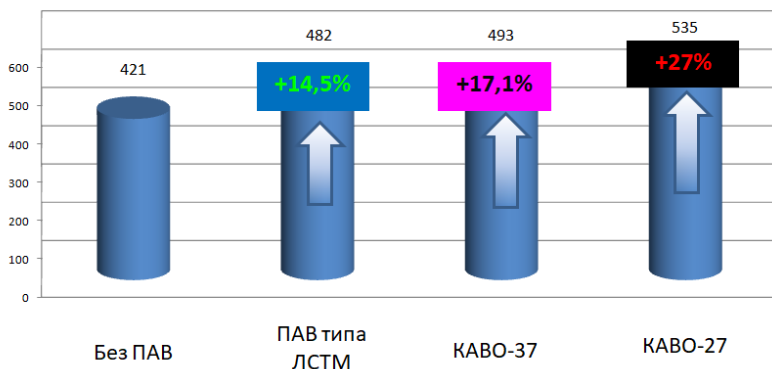


Рисунок 3. Зависимость предела прочности на сжатие (в кгс/см²) от типа ПАВ.

Высокая эффективность "КАВО-37" основана на следующих его преимуществах:

- для получения "КАВО-37" используется техническая либо водопроводная вода;
- не требуется его транспортировка железнодорожным транспортом (исключаются транспортные расходы);
- отпадает необходимость в специальных хранилищах для ПАВ;
- экологически безвреден, не вызывает аллергических заболеваний, не имеет запаха, обладает бактерицидными свойствами;
- повышает прочность цементного камня в среднем на 5-10%;
- стоимость "КАВО-37" значительно меньше, чем используемые в настоящее время добавки.

При этом уменьшается налипание частиц измельчаемого материала на мелющие тела и футеровку и увеличивается эффект механизма расклинивающего действия ПАВ.

Библиографический список:

1. Рояк С.М., Пироцкий В.З., Мапуев Н.С. Интенсификация процессов тонкого измельчения клинкера с помощью // Цемент, 1964. №5. с. 5-8,
2. Способ помола портландцементного клинкера и добавок / Пироцкий В.З., Иванов А.Н. / А.С. 607589, №19, 1978 г.
3. Ребиндер П.А. Понижение прочности поверхностного слоя твердых тел при адсорбции поверхностно-активных веществ // ЖТФ, 1932, т. 2, №7, 8.
4. Несмеянов Н.П., Степанов М.Я., Александрова Е.Б., Синцов Д.И. Разработка устройств для повышения эффективности действия интенсификатора помола цемента // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XIV. – 2015. – С. 242-244.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ СЕПАРАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

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

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Александрова Е.Б., канд. техн. наук, доц.,

Гунченко О.Ю., магистрант,

Скворцов Д.С., магистрант

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

Процесс разделения твердых зернистых материалов на части с различными свойствами частиц (кусков, зерен) использовался человечеством с древних времен и получил название «классификация материалов».

В соответствии с производственными требованиями и свойствами перерабатываемых материалов применяются следующие способы классификации зерновых материалов: механический, гравитационный (гидравлический и воздушный), магнитный, электрофизический, радиометрический, флотационный, по упругости и трению и др.

Каждый из способов основан на использовании отличий у частиц материала по тем или иным свойствам.

Для классификации мелких сыпучих строительных материалов механическим способом могут быть использованы инерционные грохоты и грохоты с электромагнитным вибровозбудителем [1, 2].

Принципиальная особенность этих грохотов состоит в том, что просеивающая поверхность совершает колебательные движения, источником которых является динамический привод, не имеющий жесткой кинематической связи с самой поверхностью. При этом характер колебательного движения, амплитуда и форма траекторий движения зависят исключительно от динамических факторов, таких как величина возмущающей силы, величина движущихся масс, жесткость и расположение пружин, частота колебаний.

Сам по себе традиционный вибрационный грохот не оказывает никакого воздействия на просеиваемый материал помимо пассивного перемещения его по поверхности сетки в горизонтальной плоскости, т. е. на самом деле ни один традиционный грохот не просеивает материал, а только лишь перемещает его по поверхности сетки [3, 4]. В связи с этим повышение эффективности сортировки достигается правильным выбором размеров сетки, скорости движения материала по сити и угла

наклона сита в зависимости от гранулометрического состава материала.

Экспериментальные исследования поведения насыпного материала при вибротранспортировке с использованием киносъёмки представляют качественную картину процесса виброперемещения.

В моменты контактов слоя с виброповерхностью материал получает силовые импульсы, затухающие по толщине слоя. Силы инерции периодически сжимают и разжимают слой, разрыхляя материал. Затухание импульсов характеризуется сдвигом фаз перемещений отдельных участков слоя, что связывается со свойствами слоя и кинематикой грохота, которая определяется динамическим коэффициентом грохочения.

$$K = \frac{A \cdot \omega^2}{d} \cdot \frac{\sin \gamma}{\cos \alpha} \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний, мм;

ω – круговая частота колебаний, рад/с;

d – ускорение силы тяжести, мм/с²;

α – угол наклона грохота, град.;

γ – угол направления колебаний.

В зависимости от K_v возникают различные режимы движения материалов по ситам, среди которых наиболее эффективны при окончательном грохочении – соответствующие $K_v=1,5 \dots 3,3$.

Для таких режимов свойственна строгая цикличность перемещений материала по ситам с продолжительностью циклов перемещений (бросков) в пределах одного периода колебания грохота. Уравновешивания скоростей слоя и грохота при этом происходит практически мгновенно, движение материала по ситам характеризуется отсутствием проскальзывания и осуществляется преимущественно в отрыве от сита. Скорость полета частиц пропорциональна скорости грохота, чередование фаз движения грохота и слоя происходит в строгой последовательности. Для обычных толщин слоя параметры его движения близко совпадают с теоретическими значениями параметров движения материальной точки.

Эксперименты показывают, что при полете реализуется режим быстрого движения среды, то же самое имеет место при вибротранспорте с подбрасыванием. В этом случае структура материала разрушается и восстанавливается с частотой внешнего воздействия [5].

Вибрационная сепарация сыпучих материалов предполагает медленное выделение одной из компонент с помощью перфорированной

границы, при этом эффективность процесса существенно зависит от объёмной концентрации твердой фазы, которая, в свою очередь, определяется параметрами вибрационного воздействия на смесь. В этих работах показано, что в ходе контакта частицы сжимаются, их центры сближаются, а поверхности вблизи точки контакта деформируются, в результате чего образуется пятно контакта, размер которого мал по сравнению с размерами частиц.

Анализ показал, что повышения эффективности процесса разделения с использованием вибрационных грохотов возможно за счет увеличения времени контакта частиц материала с просеивающей поверхностью.

Библиографический список:

1. Серго Е. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов. – Москва: Недра, 1985. – 285 с.
2. Блехман И.И. Вибрационная механика. – Москва: Физмалит, 1994. – 400 с.
3. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологии. – Москва: Наука, 1981. – 319 с.
4. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2005. – 250 с.
5. Рудакова Е.В. Моделирование контактного взаимодействия частиц // Естественные и технические науки. – 2011. – № 3. – С. 302-303.

РАЗРАБОТКА ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

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

Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.,

Бражник А.А., аспирант,

Дейнеко С.Ю., магистрант,

Кошелев М.А., магистрант

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

Особое значение в современных условиях производства строительных материалов имеет экономическая и энергетическая эффективность работы основного оборудования, к которому в частности относятся смесители различных типов и конструкций для получения качественных бетонных и растворных смесей [1, 2].

Перемешивание принадлежит к эмпирическим операциям в производстве строительных материалов. Однако, в последние годы в данной области наблюдается стремление добиться возможности точного расчета всех геометрических и технологических параметров смесителей. Систематическое исследование в этом направлении проводится как в России, так и за рубежом.

Одним из значимых факторов, имеющих влияние на качество готовой бетонной смеси, является обеспечения рационального режима загрузки крупного заполнителя в смесительную чашу [3, 4].

Рассмотрим процесс загрузки крупного заполнителя в смеситель. Для его непрерывного поступления в смесительную чашу, как правило, используется коническое загрузочное устройство (рис. 1).

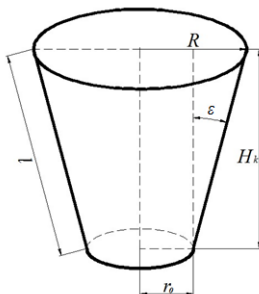


Рисунок 1. Расчетная схема для определения конструктивных параметров конического загрузочного устройства

Согласно расчетной схемы (рис. 1), находим радиус выпускного отверстия:

$$r_0 = R - H_k \cdot \operatorname{tg} \varepsilon, \text{ м}, \quad (1)$$

где R – радиус загрузочного отверстия устройства, м;

H_k – высота конического устройства, м;

ε – угол наклона стенок устройства, град.

Расход крупного заполнителя [50], истекающего из выпускного отверстия конического загрузочного устройства в зависимости от конструктивных параметров и времени будет определяться следующим соотношением [94]:

$$q = q_0 \cdot \operatorname{th} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot g}{r_0}} \cdot t_3 \right), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$

r_0 – радиус выпускного отверстия конического загрузочного устройства, м;

а величина q_0 определяется соотношением:

$$q_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r_0}{\operatorname{tg} \varepsilon}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3)$$

На основании сказанного с учетом (2.3) выражение (2.2) принимает вид:

$$q \rightarrow q_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r_0}{\operatorname{tg} \varepsilon}}. \quad (4)$$

Объем крупного заполнителя, который необходимо загрузить в смеситель в течение некоторого времени t_3 на основании (4) будет определяться соотношением:

$$Q = q_0 \cdot t_3 = \pi \cdot r_0^{5/2} \cdot \sqrt{\frac{g}{\operatorname{tg} \varepsilon}} \cdot t_3, \text{ м}^3. \quad (5)$$

В результате загрузки объема заполнителя (5) свободный объем камеры смесителя уменьшится на величину равную:

$$V_{\text{щ}} = \pi \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot H_1, \text{ м}^3, \quad (6)$$

где R_2 – внешний радиус смесительной чаши, м;

R_1 – внутренний радиус смесительной чаши, м;

H_1 – высота загрузки камеры смесителя крупным заполнителем; значение этой величины с высотой смесительной чаши связано соотношением:

$$H_1 = a_0 \cdot \psi \cdot H_0, \text{ м}, \quad (7)$$

здесь ψ – коэффициент загрузки смесительной чаши раствором;

a_0 – коэффициент загрузки смесительной чаши фракцией крупного заполнителя;

H_0 – высота смесительной чаши, м;

На основании (5) и (6) с учетом (7) получаем следующее соотношение:

$$\pi \cdot r_0^{5/2} \cdot \sqrt{\frac{g}{\text{tg} \varepsilon}} \cdot t_3 = \pi \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot a_0 \cdot \psi \cdot H_0, \quad (8)$$

С учетом выражения, которое связывает время, угол поворота ротора смесителя θ и угловую частоту вращения Ω имеем:

$$\theta = \Omega \cdot t, \text{ рад}, \quad (9)$$

с другой стороны:

$$\theta = 2 \cdot \pi \cdot n_0, \quad (10)$$

где n_0 – число полных оборотов ротора, за которое осуществится загрузка крупного заполнителя.

На основании (9), (10) уравнение (8) принимает вид:

$$r_0^{5/2} \cdot \sqrt{\frac{g}{\text{tg} \varepsilon}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{\Omega} = (R_2^2 - R_1^2) \cdot a_0 \cdot \psi \cdot H_0, \quad (11)$$

$$r_0^{5/2} = \frac{(R_2^2 - R_1^2) \cdot a_0 \cdot \psi \cdot H_0}{2 \cdot \pi \cdot n_0 \cdot \left(\frac{g \cdot H_k}{R - r_0}\right)^{1/2}}. \quad (12)$$

Исходя из (12) находим радиус выпускного отверстия конического загрузочного устройства:

$$\frac{r_0^{5/2}}{(R - r_0)^{1/2}} = \frac{(R_2^2 - R_1^2) \cdot a_0 \cdot \psi \cdot \Omega \cdot H_0}{2 \cdot \pi \cdot n_0 \cdot (g \cdot H_k)^{1/2}}, \quad (13)$$

$$r_0 = \left[\frac{(R_2^2 - R_1^2) \cdot a_0 \cdot \psi \cdot \Omega \cdot H_0}{2 \cdot \pi \cdot n_0 \cdot \left(\frac{g}{\text{tg} \varepsilon}\right)^{1/2}} \right]^{2/5}, \text{ м}. \quad (14)$$

Таким образом, полученное соотношение (14) представляет собой уравнение для определения размера выпускного отверстия конического загрузочного устройства в зависимости от конструктивных и

технологических параметров смесителя [4]. Его анализ показал, что, например, для обеспечения рационального режима загрузки крупного заполнителя в смесительную чашу бетоносмесителя принудительного действия (с объемом замеса $0,065 \text{ м}^3$) при угловой частоте вращения ротора $0,5 \text{ рад/с}$ радиус выпускного отверстия предлагаемого загрузочного устройства для крупного заполнителя должен варьироваться от $0,044 \text{ м}$ до $0,063 \text{ м}$ (при этом нужно учитывать количество оборотов ротора за которое произойдет загрузка крупного заполнителя).

Библиографический список:

1. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: учебник. – М.: Издательский дом «Альянс», 2009. – 368 с.
2. Несмеянов Н.П., Ермаков С.Е., Рыбалка Е.А., Климов С.С. Состояние и направление развития смесительного оборудования // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVII. – 2018. – С. 249-252.
3. Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Почупайло Б.И., Дмитриенко В.Г., Бражник Ю.В. Методики расчета рациональных параметров рабочих органов смесителей принудительного действия// Журнал «Фундаментальные исследования», - Москва. № 2 2016 г. (ч. 3), с. 503-508
4. Матусов М.Г. Совершенствование процессов загрузки и смешивания в роторном смесителе с лопастями геликоидного типа: дис. ... канд наук: 05.02.13 / Матусов Михаил Геннадьевич. – Б., - 2018 – 190 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНОМ АППАРАТЕ БАРАБАННОГО ТИПА С БЫСТРОВРАЩАЮЩИМСЯ РОТОРОМ

Новиков И.А., д-р техн. наук, проф.,

Саплинова В.В., аспирант

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

Для определения основных закономерностей процесса сушки тонкодисперсного материала было проведено экспериментальное исследование кинематики процесса удаления влаги в периодическом режиме. В экспериментах были использованы мелкодисперсный активированный уголь, гидрокарбонат никеля и диоксид кремния.

Активированные угли марок ОУ-Б и ПН являются тонкодисперсными материалами со средним диаметром частиц 25 мкм, используемыми в качестве сорбента в медицинской и микробиологической промышленности.

При рассмотрении под микроскопом было замечено, что частицы активного угля имеют чешуйчатую форму. Они склонны к агломерации, что затрудняет анализ дисперсного состава способами седиментации или ситового анализа. Поэтому для этой цели был использован оптический метод. Анализатор фазового состава ФС-112 работает по принципу подсчета частиц определенного размера, взвешенных в жидкостях. Опыты проводились для исходного продукта с относительной массовой долей влаги 0,52 кг/кг, а также высушенного в контактном аппарате продукта, время пребывания которого в аппарате превышало 5 минут [1]. Из графика на рисунке 1 видно, что содержание основных фракций материала не изменилось при незначительном уменьшении крупной фракции, из чего можно сделать вывод о том, что, несмотря на интенсивное движение материала в аппарате, истирание частиц практически отсутствует.

Гидрокарбонат никеля, с которым проводились опыты, представляет собой тонкодисперсную пасту с влажностью 32-35 %.

Определение кинематики сушки паст активных углей и гидрокарбоната никеля проводилось в периодическом режиме. Методика эксперимента заключалась в следующем:

В течение длительного времени (от 2 до 6 часов) аппарат поддерживался в нагретом состоянии. При этом, во всех точках достигалась стационарная температура. После этого в аппарат загружалась порция материала, запускался двигатель и устанавливалось

заданное число оборотов. С этого момента через определенные промежутки времени отбирались пробы материала. [2]

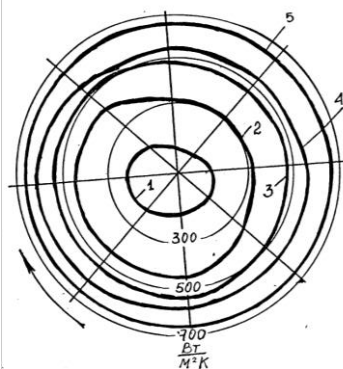


Рисунок 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от угловой скорости вращения ротора по периметру барабана. 1 – $\omega = 10$ рад/с; 2 – $\omega = 15$ рад/с; 3 – $\omega = 30$ рад/с; 4 – $\omega = 50$ рад/с; 5 – $\omega = 100$ рад/с.

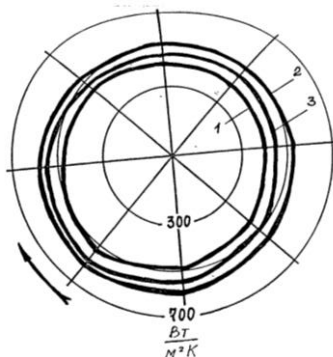


Рисунок 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от коэффициента загрузки по периметру барабана. 1 – $K_z = 0,5$; 2 – $K_z = 0,75$; 3 – $K_z = 1,0$.

В процессе сушки контролировались температуры материала и стенки аппарата в различных точках по длине и по периметру барабана. В разных экспериментах поддерживалась постоянной либо температура стенки, либо электрическая мощность, снимаемая с нагревателя.

Исследовались кинетические зависимости сушки пасты АУ при следующих режимах ре боты аппарата:

1. Число оборотов ротора - 200 – 1000 об/мин;
2. Температура стенки аппарата - 110 – 140 °C

3. Максимальная мощность нагревателя - 5 кВт
4. Коэффициент загрузки зазора - 0,75 – 1,25

Характерные кривые кинетики сушки представлены на рис.2.

С достаточной точностью графики кинетических зависимостей до остаточной влажности около 40 % можно условно аппроксимировать прямой линией и рассматривать эту влажность как критическую. Данный вывод косвенно согласуется с кривой температуры материала. Температура материала до влажности 40 % остается равной 100°C и при дальнейшем уменьшении влажности происходит рост. [3]

Из кривой скорости сушки видно, что до влажности 40 % процесс сушки происходит в первом периоде, то есть скорость сушки постоянна. Анализируя материальный и тепловой баланс процесса сушки, можно заметить, что скорость сушки пропорциональна тепловому потоку, получаемому материалом от стенки. Также необходимо отметить довольно простой вид кривой сушки – это линейная зависимость скорости сушки от текущего влагосодержания [4].

Следовательно, экспериментальные кинематические результаты можно аппроксимировать в виде:

$$\frac{dU}{d\tau} = \begin{cases} \frac{NnpU \geq U_{kp}}{N \frac{U - U_p}{U_{kp} - U_p} npU \leq U_{kp}} \end{cases}, \quad (1)$$

По изменению влагосодержания и температуры материала в процессе сушки определялось количество подведенной к материалу теплоты в процессе теплоотдачи от нагретой стенки аппарата. Результаты экспериментов обратывались в видозависимости коэффициента теплоотдачи от нагретой стенки к слою материала в соответствии с формулой:

$$\alpha = Q / (F \cdot \Delta t_{cp}), \quad (2)$$

где Δt_{cp} – разность между средней температурой стенки и температурой материала. В экспериментах для точности определения коэффициента теплоотдачи разность температур поддерживалась более 20°C.

$F = 0,17 \text{ м}^2$ – внутренняя поверхность корпуса аппарата.

Количество теплоты, подводимой к материалу в процессе сушки определялось по балансу:

$$Q = G_c \frac{dU}{d\tau} r + G_c (C + C_B U) \frac{dt}{d\tau}, \quad (3)$$

где U – массовая доля влаги в материале, отнесенная к абсолютно сухому весу.

Влияние содержания влаги на теплообмен представлен на рисунке 1, где можно заметить наличие трех периодов – с увеличивающимся значением коэффициента теплоотдачи α , с постоянной его величиной и с уменьшающимся значением α . Как было замечено в дальнейших экспериментах, понижение значения коэффициента теплоотдачи при высоком влагосодержании связано с неудачно организованной загрузкой в аппарат, вследствие чего, в начале процесса не образуется хороший контакт материала со стенкой аппарата [5,6].

Высокий коэффициент α соответствует удалению поверхностной влаги и физическое объяснение высоких α следующие:

1) в сильных центробежных полях может происходить отжим влаги на горячую поверхность, что приведет к увеличению эффективной поверхности теплообмена;

2) с изменением влажности дисперсного материала будут изменяться теплофизические свойства слоя, что скажется на интенсивности теплообмена между слоем и стенкой.

Из кривых также можно видеть, что скорость подвода теплоты быстро возрастает с увеличением скорости вращения ротора. Это подтверждает результаты исследования теплоотдачи при нагревании материала, полученные ранее.

Зависимость коэффициента теплоотдачи от содержания влаги в материале при различных величинах засыпки показана на рисунке 2 (данные получены при числах оборотов ротора $n = 500$ об/мин).

Аналогичные результаты были получены при изучении кинетики сушки гидрокарбоната никеля и кремневого песка.

С целью проверки адекватности предложенной модели непрерывной сушки был проведен ряд опытов по сушке кремнивого песка в непрерывном режиме подачи материала при следующих режимах работы аппарата:

1. Число оборотов ротора – 200 – 1000 об/мин;
2. Максимальная мощность нагревателя – 5 кВт;
3. Максимальный расход материала – 10 кг/час;
4. Начальная влажность материала – 30 – 40 %
5. Высота выгрузного порога – 0 – 15 мм.

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем: в прогревом в течение длительного времени аппарате устанавливалось заданное число оборотов ротора. Через шнековый питатель в аппарат непрерывно подавался влажный материал и устанавливалась заданная электрическая мощность нагревателя. В течение 10 минут процесс стабилизировался и производился отбор проб на влажность в середине и на выходе из аппарата. В процессе экспериментов в нескольких точках проводилось измерение температуры стенки и слоя.

Из рисунков 1 и 2 видно, что результаты экспериментальных исследований подтверждают адекватность предложенной модели и расчетных уравнений реальному процессу сушки тонкодисперсного материала в контактном аппарате с быстровращающимся ротором.

Библиографический список:

1. Фролов В.Ф., Круповский О.Н., Сомов А.М. Сушка Высоковлажных тонкодисперсных материалов//Минский международный форум «Тепломассообмен в химико-технологических устройствах» Тез. Докл. – Минск, 1992. – С. 83.
2. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии (система с дисперсной твердой фазой) – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
3. Косоротин Р.В., Осторовский Г.М., Нелидов В.А. Исследование локальной теплоотдачи горизонтального дисперсного потока // «Проблемы пневмотранспорта» Тез. Докл. Конф. – Севастополь, 1989. – С. 72 – 73.
4. Чудновский А.Ф. Теплофизические свойства дисперсных материалов – М.: Физмат, 1962. – 421 с.
5. Пат. 2911549 ФРГ, МКИ 26 В 17/20. Тонкослойная контактная сушилка / У.Мартин (ФРГ). – Оpubл. 01.10.81. – 3 с.
6. Пат. 4276701 США, МКИ 26 В 17/20. устройство для сушки влажных пастообразных материалов / П.Пудольт, В.Сабо (Венгрия). – Оpubл. 07.07.81. – 4 с.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА И СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Новиков И.А., д-р техн. наук, проф.,

Саплинова В.В., аспирант

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

Сушильный аппарат состоит из полого цилиндрического корпуса (1) и вращающегося ротора (2), снабженного лопатками (3) (рисунок 1).

Теплота, необходимая для испарения влаги из материала, подводится к внешней стенке корпуса от намотанной на нее электрической спирали.

Величина теплового потока поддерживается постоянным или регулировалась тиристорным регулятором. Регулирование теплового потока вызвано необходимостью стабилизации температуры стенки при проведении экспериментальных исследований.

Загрузка дисперсного материала производится шнековым питателем (5), выгрузка – через патрубок (8). Образующиеся во время сушки пары влаги выводятся через кольцевое пространство вблизи вала и удаляются из аппарата через штуцер (6).

Угловая скорость вращения ротора стабилизируется регулирующим электроприводом с обратной связью. Исползованная в работе система позволяет регулировать число оборотов ротора в пределах от 0 до 1000 об/мин и поддерживать заданную угловую скорость ротора при изменении нагрузки на роторе [1].

В процессе сушки и нагрева материала контролируется температуры, используются хромель-копелевые термопары, изготовленные из проволоки диаметров 0,4 мм для измерения температуры среды и 0,2 мм для измерения температуры стенки барабана. Датчики для измерения температуры слоя помещены в керамическую конструкцию с резьбой. При этом спай термопары находится от стенки на расстоянии 2-3 мм [2].

В корпусе аппарата имеется пробоотборник (10) для отбора в процессе эксперимента проб материала для анализа на величину влагосодержания. Зазор между внутренней стенкой барабана и лопастями от 2 до 5 мм. При увеличении зазора более 5 мм увеличивается количество материала в аппарате при одном и том же коэффициенте загрузки зазора, а это приводит к большим затратам мощности на поддержание слоя материала [3,4].

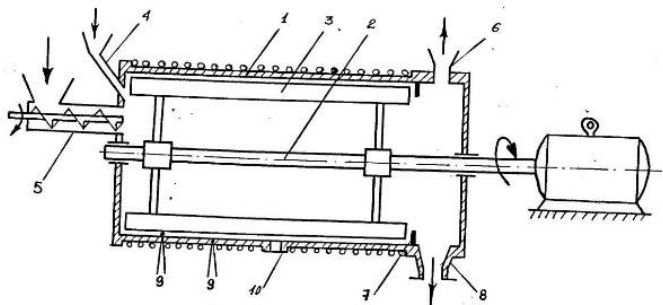


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки. 1 – корпус, 2 – ротор, 3 – лопатки, 4 – штуцер для подачи индикатора, 5 – шнековый питатель, 6 – штуцер для вторичного пара, 7 – выгрузной порог, 8 – выгрузной штуцер, 9 – термопары, 10 – пробоотборник.

Исследования проводились на аппаратах двух типоразмеров.

Первый аппарат имел следующие характеристики:

- | | |
|---------------------------------|-----------|
| 1. Длина барабана | - 300 мм |
| 2. Диаметр барабана | - 174 мм |
| 3. Мощность электродвигателя | - 0,5 кВт |
| 4. Мощность электронагревателя | - 5 кВт |
| 5. Число лопаток на валу ротора | - 6 шт |

Характеристики второго аппарата:

- | | |
|------------------------------|-----------|
| 1. Длина барабана | - 400 мм |
| 2. Диаметр | - 200 мм |
| 3. Мощность электродвигателя | - 1,3 кВт |
| 4. Число лопаток на валу | - 6 шт. |

Совместным анализом интегральных кинематических кривых сушки и нагрева конкретных материалов и характера движения и перемешивания дисперсного материала в барабанном аппарате составлена модель непрерывного процесса сушки. По полученным решениям предлагаемой модели предлагается определять распределение материала по длине аппарата и его конечно значение.

Получено соотношение, позволяющее рассчитать затраты мощности на поддержание слоя дисперсного материала в аппарате с быстровращающимся ротором.

Библиографический список:

1. Фролов В.Ф., Круповский О.Н., Сомов А.М. Сушка Высоковлажных тонкодисперсных материалов//Минский международный форум «Тепломассообмен в химико-технологических устройствах» Тез. Докл. – Минск, 1992. – С. 83.
2. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии (система с дисперсной твердой фазой) – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
3. Косоротинов Р.В., Осторовский Г.М., Нелидов В.А. Исследование локальной теплоотдачи горизонтального дисперсного потока // «Проблемы пневмотранспорта» Тез. Докл. Конф. – Севастополь, 1989. – С. 72 – 73.
4. Чудновский А.Ф. Теплофизические свойства дисперсных материалов – М.: Физмат, 1962. – 421 с.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЁДА И СПОСОБОВ БОРЬБЫ С НИМ

Романович М.А., канд. экон. наук, доц.,

Зернов И.С., магистрант

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

Наступление холодов влечёт за собой ряд проблем, одна из которых – гололёд – причина повышенного травматизма людей и роста числа ДТП.

Для наглядности обратимся к официальной статистике «ГУОБДД МВД России» (рисунок 1). Больше всего (11%) дорожно-транспортных происшествий происходит именно в ноябре, когда в средней полосе России среднесуточная температура опускается ниже 0 °С. В первую очередь, это связано с выпадением осадков в виде снега и образованию гололёда на дорожном полотне.



Рисунок 1. Распределение дорожно-транспортных происшествий по месяцам в Белгородской области в 2019 году [1]

Рассмотрим причины образования гололёда и существующие способы борьбы с ним.

Гололёдом называется слой плотного льда, который нарастает на вертикальных и горизонтальных поверхностях при выпадении осадков на охлажденную землю. Гололёду обычно сопутствует близкая к 0 °С температура воздуха, ветер и высокая влажность. Для него характерен толстый слой льда (в несколько сантиметров) и обледенение больших участков.

Часто гололёдом называют гололедицу, но это разные понятия. Гололедица – тонкий слой льда, который образует скользкую поверхность. Чаще всего возникает в неустойчивую погоду зимой, когда периоды оттепели или дождей сменяются резким похолоданием. При

гололедице речь идет о частичном обледенении: когда скользкие участки на дороге перемежаются с нескользкими [2].

И гололёд, и гололедица превращают город в большой каток, поэтому с этими явлениями активно борются в России и во всем мире.

Борьбу с гололёдом можно вести различными способами:

- фрикционным;
- тепловым;
- механическим;
- химическим.

Фрикционный метод заключается в нанесении на скользкие поверхности песка и других материалов, имеющих фрикционные свойства. Мелкие частицы песка делают корку льда шероховатой, уменьшая скольжение. Это малоэффективный метод, особенно для противогололёдной обработки дорог: песчаные частицы быстро сдуваются ветром, разбрасываются колесами машин и сносятся к обочине.

Более эффективны с точки зрения повышения сцепления гранитная и мраморная крошка, но и такие средства не плавят лед. А после таяния снега раздробленные гранулы этих материалов необходимо собирать, что ведет к дополнительным затратам на весеннюю уборку. Кроме того, смешиваясь с талыми водами, крошка может забивать городские ливневые канализации [3].

Суть теплового способа заключается в превентивных мерах по недопущению образования гололёда. Для этого еще на стадии строительства дорог и тротуаров в них прокладывают нагревательные системы, которые работают по принципу теплого пола. В качестве источника тепла они используют электричество, горячую воду или пар.

Тепловой способ борьбы с гололёдом имеет существенный недостаток: высокие затраты на установку и эксплуатацию.

Механический способ подразумевает применение ручного труда или снегоуборочной техники, когда лед сбивается с дорожной поверхности. Самый простой пример – сбивание ледяной корки с помощью лопаты.

Метод подходит для уборки снежных масс, но малоэффективен для удаления наледи, требует больших временных затрат и большого количества рабочих. Из-за множества недостатков такой метод может применяться только на коротких участках дорог и в большинстве случаев оказывается нецелесообразным [4].

Химический способ предполагает использование антигололёдных материалов в жидком и твердом видах. Под действием химических веществ, которые входят в состав материалов, снег и лед быстро плавятся независимо от погодных условий, при этом сами вещества полностью растворяются [5].

Самые распространенные противогололёдные материалы представляют собой смеси солей натрия, кальция, калия, как в чистом виде, так и в разных сочетаниях друг с другом. Пропорции подбирают так, чтобы негативное воздействие на окружающую среду было минимальным. С этой же целью в состав ПГМ вводят различные биофильные вещества и ингибиторы коррозии [6].

Особо востребованы комбинированные противогололёдные материалы – смеси химических ПГМ и фрикционных материалов. Они не только плавят лед, но и повышают шероховатость сразу после нанесения на поверхность, тем самым мгновенно улучшая сцепление колес с дорогой [7].

Библиографический список:

1. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/>
2. J. Norrman, Slipperiness on roads – An expert system classification // Meteorological Applications. 2000. 7. С. 27-36
3. Курныгина А.А. Фрикционный способ борьбы с зимней скользкостью // Научно-технические и инженерные разработки – основа решения современных экологических проблем. 2017. С. 455-457
4. Агарков А.М., Цакалиди Э.С. Анализ машин с механическим способом воздействия на гололёд // Инновационная наука. 2017. Т.1. №3. С. 13-14
5. Кудрявцева Н.А. Химические способы борьбы с зимней скользкостью // Научно-технические и инженерные разработки – основа решения современных экологических проблем. 2017. С. 451-454
6. Пашенко С.В., Романович А.А., Маматова В.В. Агрегат для распределения песко-соляных смесей // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 139-142.
7. A.A. Romanovich, Ebrahim Amini, P.V. Trishin, E. I. Chekhovskoy, A.S. Serebrennikov The definition of force parameters when grinding materials with anisotropic texture pressure in the press roller unit // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 786 012009, 2020 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/786/1/012009>

АНАЛИЗ ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПОСОБОВ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Романович М.А., канд. экон. наук, доц.,

Зернов И.С., магистрант

Дробот А.С., магистрант

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

Поиск эффективных мер по обеспечению экологической безопасности – одна из актуальных научных и практических проблем современности. Проблема содержания дорог в нашем регионе актуальна, особенно зимой. Для обеспечения максимального сцепления автомобильных шин с дорогой при образовании гололёда необходимо производить обработку дорожного полотна антигололёдными средствами. Они должны быть удобными в транспортировке, экологически чистыми и нетоксичными, не вызывать аллергических реакций и, что немаловажно, дешёвыми [1].

Согласно ОДН 218.2.027-2003 «Требования к противогололёдным материалам», к антигололёдным реагентам относятся твердые или жидкие дорожно-эксплуатационные материалы, применяемые для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и улицах. Классификация противогололёдных материалов зависит от используемого сырья и его происхождения. Противогололёдные материалы (ПГМ) делят на три группы: 1 – химические, 2 – фрикционные, 3 – комбинированные, которые выпускают в твердом или жидком виде [2].

В нашей стране популярны реагенты торговых марок Bionord, Uoksa, Mr.Defroster, Deice и Ratmix. Сравним эти средства для борьбы со льдом, рассмотрим особенности и определим отличия.

Антигололёдные продукты Bionord – разработка компании УЗПМ (Россия). Это многокомпонентные материалы на основе смеси природных солей натрия и кальция с добавлением антикоррозионных и биофильных компонентов. В ассортименте – универсальные противогололёдные реагенты, а также подходящие для пешеходных зон, внегородских дорог, придомовых территорий и парков. Есть и специальные ПГМ, например, препараты для зимнего содержания взлетно-посадочных полос аэропортов.

Особенности антигололёдных материалов «Бионорд»:

- диапазон рабочих температур – до -40°C ;
- расход – в среднем от 40 до 70 г/м²;

- упаковка – мешки, ведра и МКР;
- варианты фасовки – 10, 12, 23 и 800 кг.

Эта продукция создается с использованием технологии «Единая гранула»: внешняя оболочка обеспечивает мгновенное плавление льда, после чего разрушается его кристаллическая структура; ядро превращает лед в раствор и приводит к его отслоению от твердой поверхности, ускоряя процесс зимней уборки.

Российский бренд Uoksa известен линейкой комбинированных противогололёдных материалов универсального назначения. Они подходят для применения дорожными службами, для обработки промышленных площадок, тротуаров и территорий с разными видами твердых покрытий.

Особенности антигололёдных реагентов этой марки:

- диапазон рабочих температур – до -30°C ;
- расход – в среднем от 40 до 70 г/м²;
- упаковка – мешки и пакеты с zip-застежкой;
- варианты фасовки – 1, 5, 20 и 800 кг.

В зависимости от конкретного продукта в перечень ингредиентов противогололёдных материалов Uoksa входят следующие вещества: хлорид кальция, хлорид натрия, минеральная соль. Состав могут дополнять различные добавки: мраморная крошка (абразив), ингибиторы коррозии, карбамид.

Mr.Defroster – еще один российский производитель средств для борьбы со льдом. Современные антигололёдные материалы этого бренда имеют различный состав. Есть реагенты на основе хлоридов: состоящие только из хлористого кальция и комбинированные – $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$. Также выпускаются ПГМ на основе бишофита.

Особенности противогололёдной продукции:

- диапазон рабочих температур – до -31°C ;
- расход – в среднем от 50 до 70 г/м²;
- упаковка – клапанные мешки;
- варианты фасовки – в основном 25 кг, возможна поставка в МКР

1000 кг.

Антигололёдные смеси Deice изготавливаются украинской компанией. В их основе – хлориды магния и кальция. В ассортименте представлены различные виды ПГМ: с минимальным воздействием на растительность, подходящие для частных домов, парков и зон отдыха; с максимально быстрым эффектом для автомобилистов; с ингибиторами коррозии для автомоек и автостоянок.

Особенности антигололёдных материалов данной марки:

- диапазон рабочих температур – до -30°C ;
- расход – в среднем от 20 до 50 г/м^2 ;
- упаковка – мешки и ведра;
- варианты фасовки – 15 кг, 2,5-4,5 кг.

Ratmix – международная торговая марка по производству строительных материалов, в том числе антигололёдных реагентов. Производство предлагаемой на российском рынке продукции осуществляется на заводе в Москве.

Особенности противогололёдных средств этого бренда:

- диапазон рабочих температур – до -31°C ;
- расход – от 15 до 80 г/м^2 в зависимости от температуры;
- упаковка – мешки;
- варианты фасовки – 20 и 25 кг.

В линейке производителя есть химические противогололёдные препараты на основе одного действующего вещества (CaCl_2 , NaCl , MgCl_2) и комбинированные – с хлоридами натрия и кальция. В качестве добавок в одном из продуктов используется мраморная крошка [3-6].

Таблица 1

Сравнительный анализ противогололёдных материалов

Основные преимущества	Популярные марки современных ПГМ				
	Bionord	Uoksa	Mr.Defroster	Deice	Ratmix
Эффективность при низкой температуре, $^{\circ}\text{C}$	до -40	до -30	до -31	до -30	до -31
Расход материала, г/м^2	40-70	40-70	50-70	20-50	15-80
Варианты фасовки, кг	10 12 23 800	1 5 20 80 0	25 (по отдельном у заказу – 100)	2,5 4, 5 15	20 25
Широкий ассортимент	+	-	-	-	-

Современные ПГМ, которые пользуются популярностью на российском рынке, имеют схожий состав. В качестве действующих веществ в них используются хлориды натрия и кальция, а для придания биофильных и антикоррозионных свойств применяются специальные

добавки. Все вышеописанные материалы эффективно плавят лед и расходуются экономно. Отличия между ними заключаются в большем или меньшем разнообразии ассортимента. Кроме того, Bionord выгодно отличается от остальных реагентов тем, что в коллекции этой марки есть средства, которые работают даже в глубокие морозы [7].

Библиографический список:

1. Приходько С.С., Севрюкова Г.А., Картушина Ю.Н. Сравнительный анализ противогололёдных материалов, используемых в условиях современного города // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт. 2016. С. 29-31.
2. ОДН 218.2.027-2003. Требования к противогололёдным материалам [Электронный ресурс] Режим доступа: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/odn/2.pdf
3. Четыре золотых правила при выборе эффективных противогололёдных материалов от уральского завода противогололёдных материалов // Транспортная стратегия - XXI век. 2017. № 37. С. 44-45.
4. Бобков А.В. Эксплуатация автомобильных дорог в зимний период с учётом теплофизических свойств противогололёдных материалов // автореферат дис. ... кандидата технических наук / Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т). Москва, 2017
5. Бобков А.В., Глушко А.Н., Бессарабов А.М. Системный анализ ресурсосберегающего применения противогололёдных материалов // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности. VIII Международная конференция Российского химического общества имени Д. И. Менделеева. тезисы докладов. 2017. С. 11-12.
6. Romanovich A.A., Kolesnikov R.S., Romanovich M.A. Study of device for precompaction and uniform supply of materials to working bodies of aggregate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. С. 42-52.
7. Романович А.А., Романович М.А. Эксплуатация, ремонт и испытания наземных транспортно-технологических средств // Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2018. 160с.

АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ БОРЬБЫ С ГОЛОЛЁДОМ

Романович М.А., канд. экон. наук, доц.,

Зернов И.С., магистрант,

Матвеев В.А., магистрант

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

Борьба с зимней скользкостью на дорогах – одна из основных задач, которую необходимо решать российским коммунальным службам в достаточно продолжительный зимний сезон [1]. Обледенение дороги резко снижает коэффициент сцепления колес автомобиля с её поверхностью. Если на сухом асфальтобетонном покрытии коэффициент сцепления колес равен 0,6-0,7, то при обледенении он снижается до 0,06-0,08 [2], в результате чего нарушается устойчивость автомобиля и безопасность движения.

С помощью специальной техники, оборудования и смесей дорожные предприятия очищают дороги от обледенения, обеспечивая безопасность участников дорожного движения. Для очистки дорожного покрытия используются различные приспособления, в частности, пескорозбрасыватели.

Пескорозбрасыватели – это устройства, которые равномерно распределяют антигололёдные реагенты по дорожному полотну (это может быть не только песко-соляная смесь) [3]. Оборудование, используемое для этих целей, можно разделить на несколько категорий:

- прицепное оборудование, которое может быть присоединено к любому транспортному средству, способному перевозить соответствующий вес;
- навесные агрегаты, устанавливающиеся на тракторах, а также снегоуборочных машинах. Особенностью таких установок можно назвать компактные размеры бункера;
- кузовные пескорозбрасыватели, размещающиеся непосредственно в кузове грузового автомобиля. Их отличает большая вместимость бункеров, а также универсальность применения. Помимо удаления накопившегося снега они эффективно очищают дорожное покрытие от обледенения;
- самоходные агрегаты, установленные на шасси грузовых автомобилей, применяются в тех случаях, когда необходимо избавиться от серьезной наледи на дорогах с многополостным движением [4].

Прицепной пескоразбрасыватель можно прикрепить к любому транспортному средству, рассчитанному на перевозку грузов заданной массы.

К грузовикам или снегоуборочным машинам цепляют более тяжелые устройства, благодаря чему они превращаются в полноценные комбинированные дорожные машины, способные очищать дороги от слоя снега и разбрасывать реагенты для борьбы со льдом.

Навесное оборудование используется в сочетании с колесными или гусеничными тракторами, универсальными тракторами или снегоуборочными машинами. Агрегаты этого типа оснащены бункером малой вместимости (рисунок 1). По этой причине они используются для удаления льда с небольших участков, а также редких наледей. В зависимости от конструкции пескоразбрасывателя бункер может быть выполнен в виде прицепа или установлен непосредственно в кузов грузового автомобиля.

В результате анализа применяемых конструкций пескоразбрасывателей установлено, что плотность разбрасываемого материала во многом зависит от частоты вращения двигателя и объема подаваемого реагента в единицу времени. Однако применяемые конструкции бункеров не позволяют избежать нависания реагента (особенно песчано-солевой смеси) на стенки бункера. Из-за неровности дорожного полотна необходимо изменять обороты двигателя, что отрицательно сказывается на равномерности распределения.



Рисунок 1. Прицепной пескоразбрасыватель с бункером небольшой вместимости



Рисунок 2. Пескоразбрасыватель, устанавливаемый в кузов грузового автомобиля

Пескоразбрасыватели, установленные в кузов самосвала, имеют большую вместимость (рисунок 2). Особенность их работы заключается в том, что материал, находящийся в бункере, транспортируется конвейером к дозирующему устройству и вращающемуся диску, через который разбрасываются реагенты [5].

Основной реагент, использующийся в пескоразбрасывателях, – это песчано-соляная смесь. Однако существует ряд иных реагентов, улучшающих сцепление с дорогой, а также плавящих снег и лёд [6].

Для повышения эффективности необходимо распределять смесь по дороге, максимально очищенной от снега. В связи с этим перед нанесением песчано-соляной смеси дорогу очищают с помощью снегоуборочных машин [7].

Библиографический список:

1. Пшембаев М.К., Ковалев Я.Н., Яглов В.Н., Гиринский В.В. Способы борьбы с зимней скользкостью // Наука и техника. 2020. Т. 19. № 3. С. 230-240.
2. Силуков Ю.Д. Определение коэффициента сцепления автомобильного колеса в зависимости от вида опорной поверхности // Транспорт Урала. 2005. № 2 (5). С. 65-71.
3. Пащенко С.В., Романович А.А., Маматова В.В. Агрегат для распределения песко-соляных смесей // Надежность и долговечность

машин и механизмов. Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 139-142.

4. Коденцева Ю.В., Бахарева О.В. Анализ методов и способов борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах // Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации. Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». 2013. С. 311-317.

5. Пашенко С.В., Маматова В.В. Анализ конструкций машин, применяемых для борьбы с гололедом // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 23-26.

6. Гладышева М.Н. Борьба с наледями на автомобильных дорогах // Научно-технические и инженерные разработки – основа решения современных экологических проблем. Сборник материалов Юбилейной семидесятой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. В 3-х частях. 2017. С. 445-447.

7. Мендекеев Р.А. Снегоплавильные машины для очистки снега в городах // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. 2012. № 2. С. 160-165.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕСКОРАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ

Романович М.А., канд. экон. наук, доц.,

Зернов И.С., магистрант,

Матвеев В.А., магистрант

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

В реалиях нашей страны особенно актуальна проблема содержания автомобильных дорог в зимнее время. В северных районах России наледь на дорогах может удерживаться до 9 месяцев в году. В средней полосе, как правило, гололёда стоит опасаться с середины ноября до второй половины марта. В южных районах, где отрицательную температуру можно встретить лишь изредка, также нельзя расслабляться, потому как весомая часть водителей не имеет ни технической, ни функциональной подготовки к управлению автомобилем в неблагоприятных метеорологических условиях.

Сегодня специалисты уверены, что оптимальный способ борьбы с зимней скользкостью – использование противообледенительных средств. Чаще всего в качестве противогололёдного материала в России применяют песко-соляную смесь (ПСС). Благодаря инертности песка удаётся снизить коэффициент скольжения, что положительно сказывается на сцеплении автомобильных шин с дорожным полотном. Песок в чистом виде является фрикционным материалом и обладает существенным недостатком – он лишь увеличивает шероховатость дорожного покрытия, но не плавит сам лёд – источник всех проблем, поэтому применяют смесь песка с технической солью.

Данные смеси распределяют по дорожному полотну с помощью пескоразбрасывающего оборудования. Однако это оборудование обладает существенным недостатком – противогололёдные реагенты распределяются неравномерно, как по ширине, так и по длине дорожного полотна.

С целью изучения предлагаемых технических решений, направленных на совершенствование конструкции и повышение эффективности работы пескоразбрасывателя было проведено исследование научно-технической литературы и патентных источников.

Известно устройство для распределения сыпучих материалов на поверхности дорог [1]. Это устройство содержит бункер для загрузки сыпучего материала, транспортер и решетку, размещаемую в бункере, а также элементы для создания вибрации. В качестве последних

используют скребки транспортера и продольные элементы решетки, взаимодействие которых между собой и создает вибрацию внутри бункера.

Недостаток этого известного устройства заключается в том, что оно не может обеспечить равномерную подачу сыпучего материала на дисковое разбрасывающее устройство при отрицательных температурах, вследствие мало контролируемой агломерации сыпучего материала в смерзшиеся куски. Результатом также является неравномерное распределение сыпучего материала по обрабатываемой поверхности дорог.

Известна машина для обработки дорожной поверхности [2], содержащая базовое шасси с силовой установкой, смонтированный на ее раме цельнометаллический кузов для перевозки песко-соляной смеси, в передней и задней стенках кузова имеются окна для прохода верхней ветви цепного транспортера.

К недостаткам известной машины можно отнести подверженность приводных цепей транспортера, двигающихся по дну кузова, абразивному и химическому воздействию песко-соляной смеси, что приводит к увеличению силы трения и уменьшению срока службы приводных цепей транспортера, кроме того, отсутствует возможность оперативного управления скоростью транспортера при движении автомобиля, отчего зависит плотность посыпки, а также инерционность диска разбрасывателя создает опасность повреждения встречного транспорта и значительно усложняет работу водителя при посыпке дороги, кроме того, способ регулирования скорости транспортера не позволяет эффективно использовать отбираемую мощность силовой установки [3].

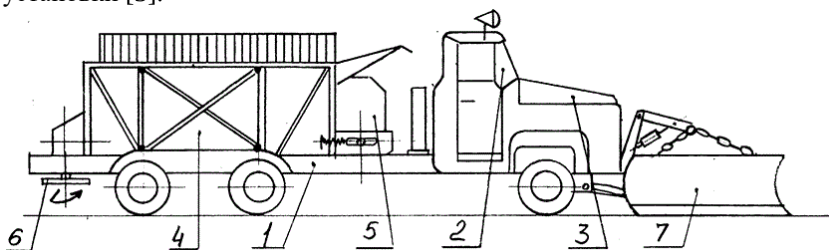


Рисунок 1. Машина с пескоразбрасывающим и плужным оборудованием:
1 – рама; 2 – базовое шасси; 3 – силовая установка; 4 – кузов; 5 – маслобак;
6 – пескоразбрасыватель; 7 – навесной плуг

Эти недостатки частично устранены в известной машине для обработки поверхности полотна дороги [4], в которой применение в качестве привода транспортера регулируемого гидромотора, установки в магистрали слива гидромотора диска пескоразбрасывателя, подпирающего клапана давления, а также установки в кабине водителя гидравлического многопозиционного переключателя с блоком предварительно настроенных дросселей, выход которого соединен с выходом регулятора расхода, формирующего поток управления гидродвигателя привода транспортера, позволило обеспечить возможность оперативного управления плотностью посыпки, а также динамически тормозить диск пескоразбрасывателя и повысить эффективность использования отбираемой мощности силовой установки [5].

Известна машина для обработки дорожной поверхности [6], содержащая базовое шасси с силовой установкой, смонтированные на его раме кузов для перевозки пескосоляной смеси, выполненный с приводным транспортером в донной части, сопряженным с пескоразбрасывателем, смонтированным у задней части кузова, плуг, щетку, связанные с соответствующими гидроцилиндрами их подъема.

К недостаткам известной машины можно отнести неудобство в управлении гидроприводами рабочих органов двумя отдельными двухсекционными блоками гидрораспределителей в эксплуатации, сложность монтажа и обслуживания гидросистемы [7].

В результате проведенного анализа был выявлен ряд систематических недостатков пескоразбрасывающих машин и оборудования, а именно:

- неравномерное распределение противогололедных реагентов по дорожному полотну;
- отсутствие возможности обеспечения равномерной подачи материала на дисковое разбрасывающее устройство при отрицательных температурах вследствие мало контролируемой агломерации сыпучего материала в смерзшихся куски;
- абразивное и химическое воздействие песчано-соляной смеси на приводные цепи транспортёра;
- сложность монтажа и обслуживания гидравлической системы.

Библиографический список:

1. Сергеев В.И., Шевякова Н.В. Устройство для распределения сыпучих материалов // Патент на изобретение RU 2245958 C1, 10.02.2005. Заявка № 2003123799/11 от 29.07.2003.

2. Валиуллин К.Ш., Ильин В.П. Устройство для подачи и распределения сыпучих материалов // Патент на полезную модель RU 77422 U1, 20.10.2008. Заявка № 2008107479/22 от 26.02.2008.

3. Романович М.А., Романович А.А. Безопасность технологического оборудования и процессов // Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2018. 125с.

4. Ананьин Б.М., Хазанович М.И. Машина для обработки поверхности полотна дороги // Патент на изобретение RU 2149237 C1, 20.05.2000. Заявка № 98107503/28 от 21.04.1998.

5. Романович А.А., Сиваченко Л.А. К выбору основных направлений развития отечественного технологического машиностроения // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» Материалы Международной научно-практической конференции. Белгород, 15-17 октября - Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – с.349-354.

6. Глущенко Н.В. Устройство для распределения сыпучего материала по поверхности // Патент на полезную модель RU 44121 U1, 27.02.2005. Заявка № 2004125925/22 от 30.08.2004.

7. A.A. Romanovich, Ebrahim Amini, D.M. Annenko, E.I. Chekhovskoy Energy-saving technology and equipment for the production of composite binder using local raw materials // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 786 012008, 2020 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/786/1/012008>

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ДВУХРОТОРНОГО СМЕСИТЕЛЯ И ВОЗМОЖНОЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ

Романович А.А., д-р техн. наук, проф.,

Бабаевский А.Н., доц.,

Пахомов Е.Г., аспирант,

Калашников И.А., аспирант

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

Процессы перемешивания различных веществ широко применяют во многих отраслях промышленности, в том числе и в промышленности строительных материалов. В различных технологических процессах требуется создать однородную массу, состоящую из нескольких компонентов. В других случаях необходимо обеспечить максимально полный и равномерный по всему объему контакт реагирующих компонентов.

Процессы перемешивания необходимы:

для создания оптимальной поверхности реагирующих веществ;

для изменения физического состояния вещества (для растворения, кристаллизации и т.п.);

для ускорения химических реакций и теплопередачи;

для получения суспензий, эмульсий и различных паст.

Для различных целей перемешивают вещества, находящиеся в одинаковых или различных состояниях: твердые компоненты с твердыми, твердые с жидкими, жидкие с жидкими и т. п. Так при изготовлении силикатных изделий смесь готовят из песка, извести и воды, при изготовлении бетонных изделий из цемента, щебня, песка и воды.

Получение бетона и раствора заданных марок и свойств, отвечающих соответствующим требованиям, обеспечивается совокупностью многих факторов, из которых первостепенное значение имеют качество исходных компонентов и эффективность работы смесительного оборудования. Для приготовления бетонов и растворов применяются смесители различной конструкции.

Смесители периодического действия характеризуются емкостью смесительного барабана и временем, необходимым для приготовления замеса.

Растворосмесители циклического действия представляют собой корытообразный открытый сверху корпус, в котором установлен вал с двумя лопастями, имеющими разные направления винтовых плоскостей.

Смешивание компонентов смеси в бетоно-растворосмесителях циклического действия осуществляется отдельными порциями (замесами) после выгрузки из барабана смесителя предшествующей порции материалов. Такой режим работы позволяет регулировать время перемешивания в зависимости от состава смеси.

Объем получаемой готовой смеси всегда меньше суммарного объема сухих компонентов (составляет $0,65 \dots 0,7$), так как при перемешивании частицы их укладываются более плотно за счет заполнения мелкими частицами пустот между крупными зёрнами смеси.

При приготовлении бетонных смесей применяются – бетоносмесители с принудительным либо гравитационным перемешиванием материалов в подвижном и неподвижном барабанах. Основным показателем этих машин является емкость их смесительных барабанов (производственная емкость), определяемая суммарным объемом сухих составляющих смеси, которые загружаются в барабан в количествах, необходимых для приготовления одного замеса.

Смеситель состоит из следующих основных составных частей: приемного устройства 1, камеры смесительной 2, двух валов 4, двух электродвигателей 6, пневмоцилиндра 7, окна разгрузочного 9 и рамы 10.

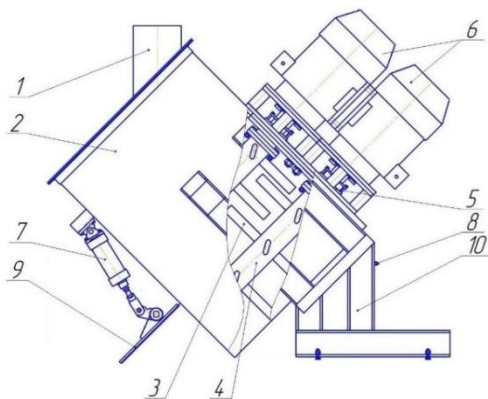


Рисунок 1. Устройство двухроторного смесителя

- 1 – приемное устройство, 2 - камера смесителя, 3 - лопасти, 4 - вал смесителя
5 – уплотнение вала, 6 – электродвигатель, 7 – пневмозадвижка, 8 - болт заземления, 9 - окно разгрузочное, 10 - рама.

В верхней части камеры смесительной расположено приемное устройство, над которым может устанавливаться бункер-дозатор или любое другое загрузочное устройство, обеспечивающее дозирование смешивающих материалов объемом не более 300литров и массой не более 600кГ, а между ними любое отсекающее устройство, например, задвижка поворотная.

Включить электродвигатели, открыть задвижку, дозированные сухие компоненты, предварительно заполненные в бункер-дозатор или другую ёмкость, ссыпаются в камеру смесительную, задвижку закрыть. Смесь интенсивно перемешивается лопастями (поз.3) двух валов смесителя.

Дозирование и время перемешивания смеси задается оператором.

После перемешивания открывается окно разгрузочное и готовая смесь самотеком ссыпается в приемное устройство (например, шнек, транспортер, бункер-накопитель и пр.). Затем, закрывается окно разгрузочное и открывается задвижка, при этом, дозированные сухие компоненты, заполненные в бункер загрузочный во время перемешивания предыдущей партии, ссыпаются в камеру смесительную и цикл повторяется.

Герметичность между окном разгрузочным и приемным устройством потребитель обеспечивает самостоятельно, в зависимости от применяемых устройств.

Одним из возможных путей совершенствования конструкции является разработка и совершенствование строения лопатки смесителя.

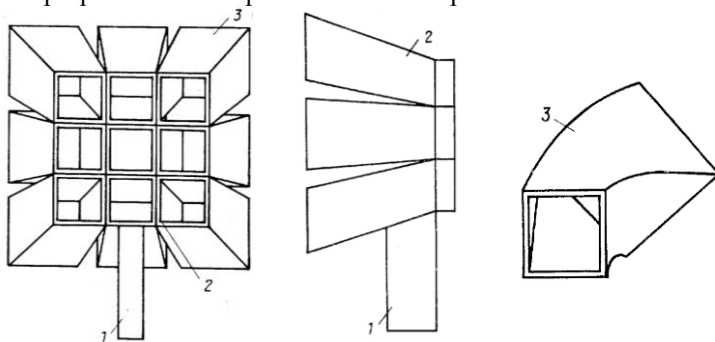


Рисунок 2. Строение лопатки смесителя:

1 - лопасть, 2 - стойка, 3 - усеченная полая пирамида

Лопатка смесителя для жидких и/или сыпучих материалов, состоящая из лопасти 1 и стойки 2, отличающаяся тем, что, с целью повышения интенсификации процесса смешивания и исключения залипания рабочих органов, лопасть выполнена в виде набора расходящихся усеченных полых пирамид 3, меньшие основания которых соединены между собой, а стойка выполнена упругой.

Использование предлагаемой лопатки позволит повысить эффективность процесса смешивания за счет применения лопасти в виде набора расходящихся полых усеченных пирамид, исключить залипание лопасти и улучшить прохождение смешиваемого материала сквозь нее за счет выполнения стойки из упругого материала.

Библиографический список:

1. Богданов В.С. Семикопенко И.А. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий - Белгород, 2018. - 619 с.
2. Богданов В.С, Боршевский А.А., Ильин А.С. Технологические комплексы и линии для производства строительных материалов и изделий. - М.: АСВ 2000. - 199 с.
3. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: учеб. для вузов. М Альянс, 2009. - 368 с.
4. Romanovich A.A., Amini E., Apukhtina I.V., Pahomov E.G.. The grinding clinker pressure process study // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2019 – Т 698 (066038)
5. Romanovich A.A., Osalou A.Z, Mamatova V.V., Pahomov E.G.. The grinding bodies movement dynamics study in a ball mill equipped with energy-exchanging devices // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2019 – Т 698 (066037)
6. Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. Технология производства строительных материалов. – М: Высшая школа, 1984. – 408 с.
7. Силенок С.Г., Борщевский А.А., Горбовец М.Н. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. для вузов. - М.: Машиностроение 1990. - 412 с.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С ПОВЫШЕННЫМ ИСТИРАЮЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

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

Беляев Д.А., аспирант,

Севостьянов А.Э., аспирант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы применяют в настоящее время в промышленности строительных материалов в качестве оборудования для приготовления минеральных добавок в асфальтобетонные смеси.

В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, обеспечивающий повышение истирающего воздействия на частицы измельчаемого материала в периферийной части корпуса и производительности по готовому продукту (см. рис. 1).

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 устройствами. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов, соответственно 6 и 7, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска. Внешние торцы диска 5 с внешним рядом ударных элементов 7 имеют зубчатый профиль 8 [1]. Между дисками 4, 5 и внутренней поверхностью цилиндрической стенки на плоских боковинах корпуса 1 по его периметру например сваркой, втулки 9. Во втулках 9 расположены оси 10 с возможностью их вращения. На каждой оси 10 жестко закреплены зубчатое колесо 11 и кольца 12. Зубчатое колесо 11 входит в зацепление с зубчатым профилем 8 диска 5. Кольца 12 равномерно закреплены по высоте осей 10 с одинаковым шагом. Ударные элементы 7 внешнего ряда имеют призматические выступы 13, ориентированные в сторону колец 12, которые поочередно чередуются по высоте ударных элементов 7 с кольцами 12 с участками 14 перекрывания друг друга. Имеется технологический зазор между сопрягаемыми поверхностями колец 12 и призматических выступов 13.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например глина влажностью до 2%, подается через осевое загрузочное устройство 2 в центральную часть корпуса 1 на нижний диск 5 и под действием центробежной силы направляются на первый

внутренний ряд ударных элементов 6, закрепленных на верхнем диске 4, вращающемся в противоположном направлении.

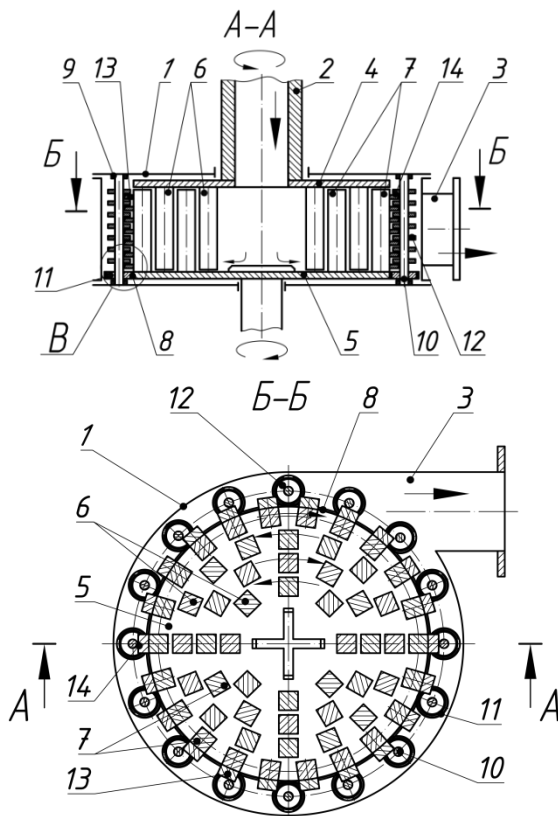


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – загрузочное устройство; 3 – разгрузочное устройство;
 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – зубчатый профиль; 9 – втулка;
 10 – ось; 11 – зубчатое колесо; 12 – кольцо; 13 – призматический выступ;
 14 – участок перекрытия.

Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, направляются к последующим рядам 7, где осуществляется окончательный помол материала. Частицы, выходящие с внешнего ряда ударных элементов 7, попадают в технологические зазоры участков перекрытия 14 (см. рис. 2) между рабочими поверхностями колец 12,

вращающихся совместно с осями 10 во втулках 9, и рабочими поверхностями призматических выступов 13, вращающихся совместно с ударными элементами 7 внешнего ряда в противоположном направлении. Здесь частицы материала окончательно измельчаются за счет истирания между противоположно вращающимися кольцами 12 и призматическими выступами 13. Противоположное направление вращения ударных элементов 7 с призматическими выступами 13 и колец 12 с осями 10 обеспечивается за счет зацепления зубчатого колеса 11 с зубчатым профилем 8 диска 5.

Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через тангенциальное разгрузочное устройство 3. Применение призматических выступов 13, принадлежащих ударным элементам 7 внешнего ряда и колец 12, вращающихся вместе с осями 10 в противоположном направлении, обеспечивает раздавливающие и истирающие нагрузки на частицы измельчаемого материала, в результате чего они окончательно измельчаются [2].

Применение дезинтегратора предложенной конструкции позволяет обеспечить дополнительное истирающее воздействие на частицы измельчаемого материала в периферийной части корпуса до их попадания в тангенциальный разгрузочный патрубок и значительно повысить эффективность процесса измельчения, тем самым увеличивает производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Логачев И. Н., Смирнов Д. В. Закономерности движения крупных частиц измельченного материала в криволинейном патрубке возврата дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 12. С. 159-162.

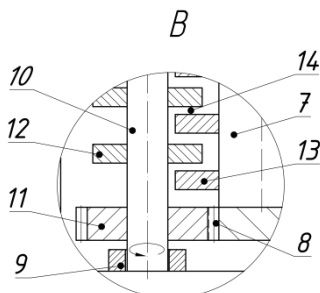


Рисунок 2. Вид В:

- 7 – ударный элемент;
- 8 – зубчатый профиль;
- 9 – втулка; 10 – ось;
- 11 – зубчатое колесо;
- 12 – кольцо;
- 13 – призматический выступ;
- 14 – участок перекрытия.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С РАЗГОННЫМ КОНУСОМ

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

Беляев Д. А., аспирант,

Севостьянов А. Э., аспирант,

Скитов И. А., магистрант,

Скитова В. М., магистрант

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

Дезинтеграторы применяют в настоящее время в качестве оборудования для приготовления минеральных добавок в асфальтобетонные смеси.

В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, обеспечивающей предварительное измельчение частиц материала в центральной части корпуса.

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 устройствами. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов, соответственно 6 и 7, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска (см. рис. 1). В центре нижней поверхности верхнего диска 4 по окружности жестко прикреплены вертикальные стойки 8, внутренние торцы которых находятся на одном диаметре с диаметром загрузочного устройства 2. К нижним торцам вертикальных стоек 8 жестко прикреплен разгонный конус 9 с образующей, расположенной под углом, большим угла естественного откоса материала. На верхней поверхности разгонного конуса 9 жестко закреплены радиальные лопатки 10. При этом минимальное расстояние между смежными радиальными лопатками превышает $D_{\max}$, где $D_{\max}$ – максимальный размер частиц измельчаемого материала. На концах радиальных лопаток 10 жестко закреплены била 11 с горизонтальными вырезами 12 высотой менее $D_{\max}$. На верхней поверхности нижнего диска 5 посредством вертикальных перемычек 13 полукруглого поперечного сечения жестко закреплено горизонтальное кольцо 14 полукруглого поперечного сечения. На внутренней поверхности горизонтального кольца 14 на высоте бил 11 жестко закреплены, например болтовым соединением, сменные горизонтальные отбойники 15. Под каждым горизонтальным отбойником 15 в нижнем секторе горизонтального кольца 14 выполнено отверстие 16 с диаметром, превышающим $D_{\max}$, к кромке которого примыкает соответствующая вертикальная перемычка 13 с внутренним

радиусом, равным радиусу отверстия 16. Расстояние между двумя смежными горизонтальными отбойниками 15 превышает $2D_{\max}$. При этом внешний профиль бил 11 соответствует профилю поперечного сечения горизонтального кольца 14 и горизонтального отбойника 15 с соблюдением технологического зазора. Для эффективной разгрузки вертикальных перемычек 13 необходимо крепить их к нижнему диску 5 выпуклой стороной в направлении его вращения [1].

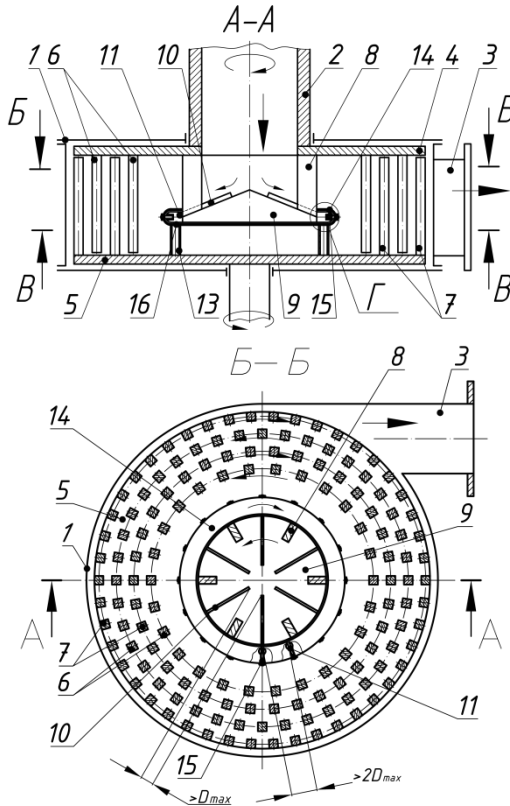


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – устройство загрузочное; 3 – устройство разгрузочное;
- 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – стойка вертикальная; 9 – конус;
- 10 – лопатка радиальная; 11 – било; 12 – вырез горизонтальный;
- 13 – перемычка; 14 – кольцо; 15 – отбойник; 16 – отверстие.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например глина влажностью до 2%, подается через осевое загрузочное устройство 2 в центральную часть корпуса 1 на верхнюю поверхность разгонного конуса 9, закрепленного при помощи вертикальных стоек 8 к верхнему диску 4 и посредством радиальных лопаток 10 направляется в сторону горизонтального кольца 14, закрепленного на нижнем диске 5 посредством вертикальных перемычек 13. Достигая зоны действия бил 11 с горизонтальными вырезами и горизонтальных отбойников 15, вращающихся в противоположные стороны, куски материала измельчаются в технологических зазорах между билами 11 и горизонтальными отбойниками 15, входящими в горизонтальные вырезы 12. После разрушения кусков материала мелкие частицы проходят через отверстия 16 в горизонтальном кольце 14, падают на нижний диск 5 и направляются к внутреннему ряду ударных элементов 6 на дальнейшее измельчение. Крупные частицы, не прошедшие через отверстия 16 в горизонтальном кольце 14, продолжают дальнейшее вращательное движение во внутренней полости горизонтального кольца 14 и измельчаются до тех пор, пока не пройдут через отверстия 16. Затем частицы таким же образом направляются к первому внутреннему ряду ударных элементов 6 (см. рис. 2). Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, направляются к последующим рядам 7, где осуществляется окончательный помол материала. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через тангенциальное разгрузочное устройство 3.

Применение разгонного конуса 9 с радиальными лопатками 10, расположенными под углом к горизонту, превышающим угол естественного откоса материала, обеспечивает интенсивную подачу материала в зону предварительного измельчения материала [2]. Применение бил 11 с горизонтальными вырезами 12 высотой менее $D_{\max}$ и горизонтального кольца 14 с горизонтальными отбойниками 15 обеспечивает предварительное разрушение частиц материала перед их подачей на внутренний ряд ударных элементов 6. Минимальное расстояние между смежными радиальными лопатками 10, превышающее $D_{\max}$, определяется возможностью прохождения материала по верхней поверхности разгонного конуса 9. Наличие отверстий в нижнем секторе горизонтального кольца 14 и вертикальных перемычек 13 полукруглого поперечного сечения обеспечивает своевременный отвод предварительно измельченных кусков материала и их подачу на первый внутренний ряд ударных элементов 6. Расстояние между двумя

смежными горизонтальными отбойниками 15, превышающее $2D_{\max}$, исключает заклинивание материала в горизонтальном кольце 14.

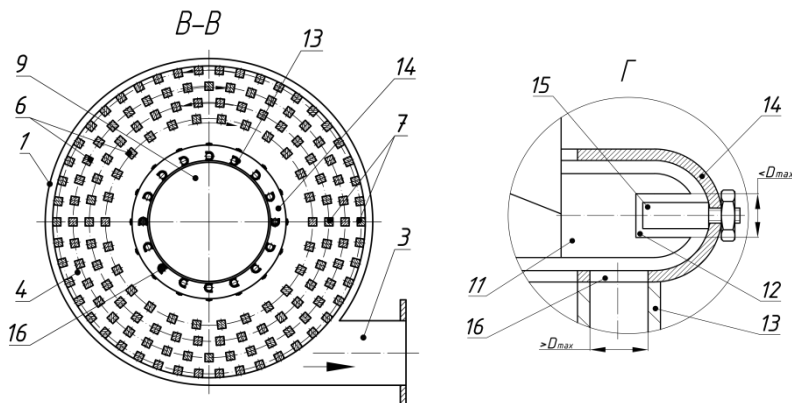


Рисунок 2. Разрез В-В и вид Г:

1 – корпус; 3 – устройство разгрузочное; 4,5 – диски; 6,7 – ударные элементы; 9 – конус; 11 – било; 12 – вырез горизонтальный; 13 – перемычка; 14 – кольцо; 15 – отбойник; 16 – отверстие.

Размеры отверстий 16 в горизонтальном кольце 14 обеспечивают прохождение различных частиц материала из внутренней полости горизонтального кольца 14 в направлении нижнего диска 5. Форма поперечного сечения вертикальных перемычек 13 исключает забивание материалом внутренней полости данных перемычек. Применение дезинтегратора предложенной конструкции позволяет обеспечить предварительное измельчение частиц материала в центральной части корпуса до их попадания на внутренний ряд ударных элементов и своевременный отвод предварительно измельченного материала в направлении нижнего диска. Это значительно повышает эффективность процесса измельчения, тем самым увеличивает производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикалыцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Воронов В. П., Беляев Д. А., Маняхин А. С. Определение мощности, затрачиваемой на измельчение частицы между двумя коническими поверхностями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 5. С. 78-81.

ДЕЗИНТЕГРАТОР СО СФЕРИЧЕСКИМ НАКОПИТЕЛЕМ

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

Беляев Д.А., аспирант,

Севостьянов А.Э., аспирант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы применяют в настоящее время в промышленности строительных материалов. В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, со сферическим накопителем обеспечивающей повышение эффективности процесса измельчения и производительности по готовому продукту.

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 устройствами. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов, соответственно 6 и 7, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска. В центре нижней поверхности верхнего диска 4 по окружности жестко прикреплены, например сваркой, вертикальные стойки 8, внутренние торцы которых находятся на одном диаметре с диаметром загрузочного устройства 2. К нижним торцам вертикальных стоек 8 жестко прикреплен, например сваркой, разгонный конус 9 с образующей, расположенной под углом, большим угла естественного откоса материала (см. рис. 1). На верхней поверхности разгонного конуса 9 симметрично в плане жестко закреплены, например сваркой, радиальные лопатки 10. При этом минимальное расстояние между смежными радиальными лопатками 10 превышает $D_{\max}$, где $D_{\max}$ – максимальный размер частиц измельчаемого материала. На концах радиальных лопаток 10 жестко закреплены, например сваркой, сферические накопители 11 с внутренним диаметром, превышающим $2D_{\max}$ и со сквозными вертикальными вырезами 12 шириной $(0,5...1,0)D_{\max}$. Рабочая поверхность каждой радиальной лопатки 10 совпадает с кромкой круглого входного отверстия 13 диаметром $D_{\max}$ в сферическом накопителе 11. На верхней поверхности нижнего диска 5 посредством вертикальных держателей 14 на высоте сферических накопителей 11 симметрично в плане жестко закреплены, например сваркой, призматические молотки 15, боковой профиль которых соответствует

профилю сквозных вертикальных вырезов 12 с соблюдением технологического зазора [1].

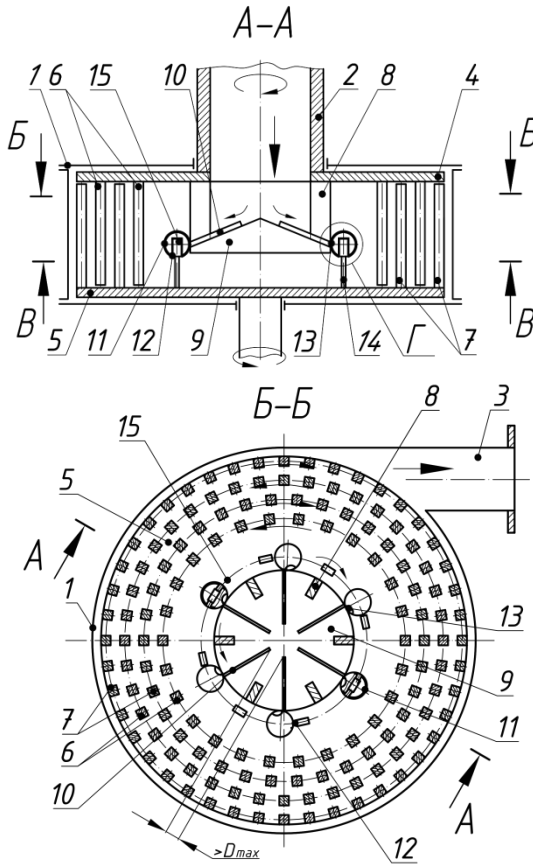


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – устройство загрузочное; 3 – устройство разгрузочное;
 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – стойка вертикальная;
 9 – конус разгонный; 10 – лопатка радиальная;
 11 – накопитель сферический; 12 – вырез вертикальный;
 13 – отверстие; 14 – держатель вертикальный, 15 – молоток призматический.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например глина влажностью до 2%, подается через осевое

загрузочное устройство 2 в центральную часть корпуса 1 на верхнюю поверхность разгонного конуса 9, закрепленного при помощи вертикальных стоек 8 к верхнему диску 4 и посредством радиальных лопаток 10 направляется в сторону сферических накопителей 11. Под действием центробежной силы частицы материала поступает через круглое входное отверстие 13 во внутреннюю полость сферического накопителя 11 (см. рис. 2). При этом под действием силы Кориолиса частицы прижимаются к внутренней боковой стенке сферического накопителя противоположно направлению вращения разгонного конуса 9. При встречном движении разгонного конуса 9 со сферическими накопителями 11 и вертикальных держателей 14 с призматическими молотками 15, проникающими во внутреннюю полость сферических накопителей 11 через сквозные вертикальные вырезы 12, осуществляется предварительное разрушение кусков материала. После предварительного разрушения материала частицы выпадают через сквозные вертикальные вырезы 12 в направлении нижнего диска 5, вращающегося совместно с призматическими молотками 15 [2].

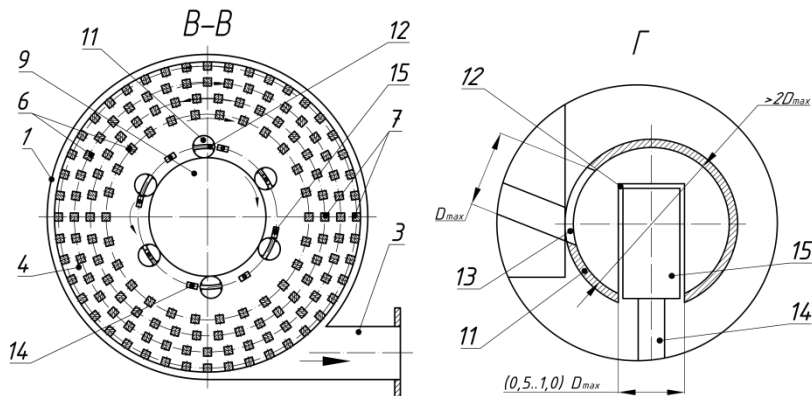


Рисунок 2. Разрез В-В и вид Г:

- 1 – корпус; 3 – устройство разгрузочное; 4 – диск; 6, 7 – ударные элементы;
 9 – конус разгонный; радиальная; 11 – накопитель сферический;
 12 – вырез вертикальный; 13 – отверстие; 14 – держатель вертикальный,
 15 – молоток призматический.

Достигнув поверхности нижнего диска 5, частицы под действием центробежной силы направляются к внутреннему ряду ударных элементов 6, вращающемуся противоположно нижнему диску 5, на

дальнейшее измельчение. Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, направляются к последующим рядам 7, где осуществляется окончательный помол материала. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через тангенциальное разгрузочное устройство 3.

Применение разгонного конуса 9 с радиальными лопатками 10, расположенными под углом к горизонту, превышающим угол естественного откоса материала, обеспечивает интенсивную подачу материала в сторону сферических накопителей 11, т. е. в зону предварительного измельчения материала. Применение сферических накопителей 11 со сквозными вертикальными вырезами 12 и призматических молотков 15 обеспечивает предварительное разрушение кусков материала перед их подачей на внутренний ряд ударных элементов 6. Минимальное расстояние между смежными радиальными лопатками 10, превышающее $D_{\max}$, определяется возможностью прохождения материала по верхней поверхности разгонного конуса 9. Внутренний диаметр сферических накопителей 11, превышающий $2D_{\max}$, исключает заклинивание материала во внутренней полости сферического накопителя 11. Размер ширины вертикальных вырезов 12, равный $(0,5 \dots 1,0)D_{\max}$, обеспечивает разрушение наиболее крупных кусков материала за счет удара и раздавливания, при этом мелкие частицы измельчаются преимущественно за счет истирания. Симметричное в плане расположение радиальных лопаток 10, сферических накопителей 11 и вертикальных держателей 14 с призматическими молотками 15 обеспечивает балансировку верхнего 4 и нижнего 5 дисков. Применение дезинтегратора предложенной конструкции позволяет обеспечить предварительное измельчение частиц материала в центральной части корпуса до их попадания на внутренний ряд ударных элементов и своевременный отвод предварительно измельченного материала в направлении нижнего диска.

Это значительно повышает эффективность процесса измельчения, тем самым увеличивает производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Пат. 2700645. Дезинтегратор / И. А. Семикопенко, Д. А. Беляев, К. А. Юдин, Е. А. Бороздин; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. - №2019100398, заявл. 09.01.2019; опубл. 18.09.2019, бюл. №26. – 6 с.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РОТОРНЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ

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

Беляев Д.А., аспирант,

Севостьянов А.Э., аспирант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы в последнее время все более широко применяются для тонкого и сверхтонкого измельчения мягких минеральных и органических материалов. В данной статье предлагается описание конструкции центробежного роторного измельчителя, обеспечивающей повышение эффективности процесса измельчения и производительности по готовому продукту.

Центробежный роторный измельчитель состоит из цилиндрического корпуса 1 с загрузочным 2 и разгрузочным 3 патрубками. Площадь поперечного сечения разгрузочного патрубка 3 должна быть не менее площади поперечного сечения загрузочного патрубка 2 для предотвращения забивания материалом, движущимся в периферийной части корпуса 1. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения горизонтальные диски 4 и 5 с рядами ударных элементов 6 и 7, соответственно, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска. На периферии нижней поверхности верхней стенки 8 корпуса 1 на высоте верхнего диска 4 жестко закреплен круглый желоб 9 с нижним профилем поперечного сечения в виде округлой канавки 10 [1]. Разгрузочный патрубок 3 имеет поперечное сечение в форме сектора кольца с радиусами круглого желоба 9 и вертикально закреплен в отверстии 11 в верхней стенке 8 корпуса 1. Нижняя кромка разгрузочного патрубка 3 совпадает с нижней поверхностью круглого желоба 9. На верхней поверхности нижнего диска 5 большего диаметра с технологическим зазором до внутренней поверхности цилиндрической стенки 9 корпуса 1 жестко прикреплен вертикальный цилиндр 12, внутренняя стенка которого находится на одном радиусе с внешней кромкой круглого желоба 9. К нижней части ударных элементов 7 внешнего ряда, принадлежащих верхнему диску 4, жестко прикреплены горизонтальные отбойные лопатки 13, на высоте которых к внутренней стенке вертикального цилиндра 12 жестко прикреплены, например сваркой, вертикальные броне плиты 14 переменной толщины см. рис. 1.

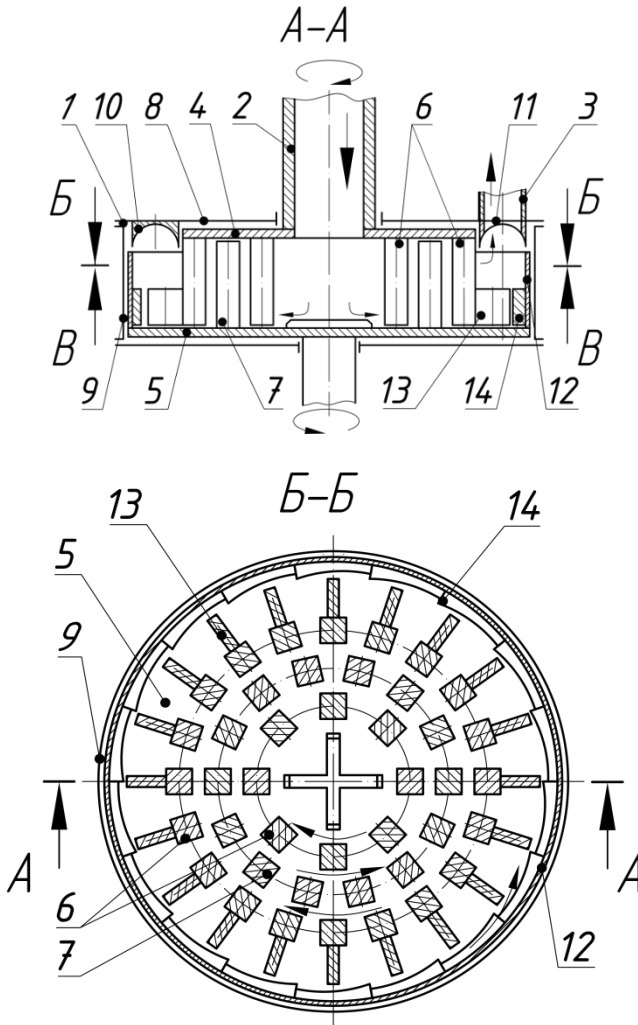


Рисунок 1. Схема центробежного роторного измельчителя:
 1 – корпус; 2 – патрубок загрузочный; 3 – патрубок разгрузочный;
 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – стенка; 9 – желоб; 10 – канавка;
 11 – отверстие; 12 – цилиндр; 13 – лопатка; 14 – бронеплита

Измельчитель работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 2%, подается через загрузочный патрубок 2 в центральную часть корпуса 1 на нижний диск 5 и под действием центробежной силы на внутренний ряд ударных элементов 6. Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, принадлежащих верхнему диску 4, направляются к последующему ряду 7, где осуществляется помол материала. Пройдя все ряды ударных элементов 6 и 7, частицы материала перемещаются вдоль горизонтальных отбойных лопаток 13 в сторону вертикального цилиндра 12 см. рис. 2.

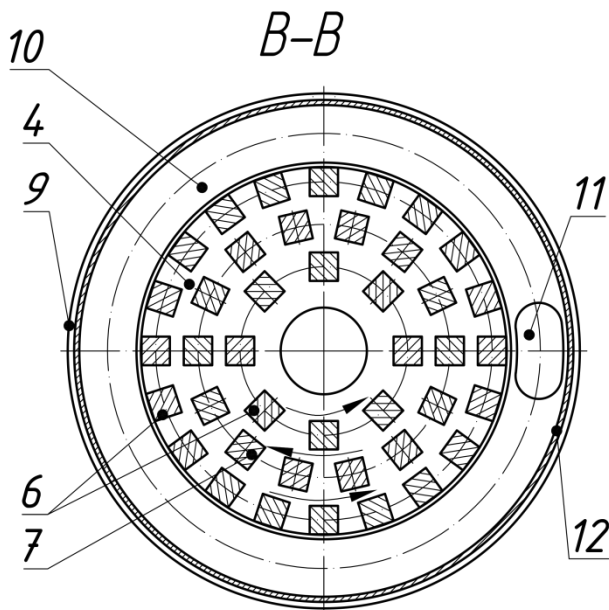


Рисунок 2. Разрез В-В центробежного роторного измельчителя:

4 – диск; 6, 7 – ударные элементы; 9 – желоб; 10 – канавка;
11 – отверстие; 12 – цилиндр.

В зазоре между бронеплитами 14 вертикального цилиндра 12 и торцами горизонтальных отбойных лопаток 13 осуществляется окончательное измельчение материала. При этом тонкие частицы потоком воздуха, создаваемым горизонтальными отбойными лопатками 13, поднимаются в направлении круглого желоба 9, затем перемещаются

вдоль округлой канавки 10 и выходят через разгрузочный патрубок 3. Крупные частицы доизмельчаются в зазоре между вертикальными бронеплитами 14 вертикального цилиндра 12, расположенного с технологическим зазором до внутренней поверхности цилиндрической стенки, и торцами горизонтальных отбойных лопаток 13. Вследствие высокочастотного изменения данного зазора частицы материала испытывают раздавливающие и истирающие нагрузки, имеющие циклический характер. Измельчение частиц происходит до тех пор, пока они будут вынесены из корпуса 1 в разгрузочный патрубок 3, проходящий через отверстие 11 в верхней стенке 8. Таким образом, готовый продукт выгружается из корпуса 1 через разгрузочный патрубок 3 [2].

Применение круглого желоба 9, горизонтальных отбойных лопаток 13 и вертикального цилиндра 12 обеспечивает движение частиц материала в восходящем потоке из нижней части периферийной зоны в верхнюю часть по мере их готовности. Наличие нижнего профиля поперечного сечения круглого желоба 9 в виде округлой канавки 10 позволяет обеспечить круговое движение потока частиц готового продукта на радиусе расположения разгрузочного патрубка 3. Применение горизонтальных отбойных лопаток 13 и вертикального цилиндра 12 с вертикальными бронеплитами 14 переменной толщины обеспечивает дополнительное измельчение крупных частиц и их дальнейшее движение в восходящем потоке в верхнюю часть корпуса 1, что позволяет обеспечить своевременный отвод мелких частиц в вертикальный разгрузочный патрубок.

Применение разгрузочного патрубка 3 с поперечным сечением в форме сектора кольца обеспечивает его пропускную способность, исключаящую его забивание материалом.

Всё вышеперечисленное позволяет обеспечить классификацию материала в периферийной части корпуса.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Воронов В. П., Юрченко А. С., Беляев Д. А. Расчет геометрических параметров цилиндрического калибрующего устройства в периферийной части дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 6. С. 85-89.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С ДУГОВЫМ КОРОБОМ

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

Бороздин Е.А., аспирант,

Севостьянов А.Э., аспирант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы применяют мелкого дробления хрупких малоабразивных материалов. В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, обеспечивающей классификацию материала в периферийной части корпуса со своевременным отводом мелких частиц.

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 патрубками. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения горизонтальные диски 4 и 5 с рядами ударных элементов 6 и 7, соответственно, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска. Тангенциальный разгрузочный патрубок 3 сообщается с осевым загрузочным патрубком 2. Ударные элементы 7 внешнего ряда принадлежат нижнему диску 5 большего диаметра. К нижней части ударных элементов 7 и к верхней поверхности диска 5 жестко прикреплены радиальные лопатки 8 высотой $(0,1...0,2)h$, где h – высота ударного элемента 7. За тангенциальным разгрузочным патрубком 3 по направлению вращения внешнего ряда ударных элементов 7 к внутренней поверхности цилиндрической стенки 9 корпуса 1 и к периферии нижней поверхности верхней стенки 10 корпуса 1 жестко прикреплен дуговой короб 11 прямоугольного поперечного сечения с технологическим зазором до внешнего ряда ударных элементов 7 и верхнего торца радиальных лопаток 8. В отверстии 12 в верхней стенке 10 корпуса 1 и в дуговом коробе 11 по его радиальному размеру закреплен дополнительный наклонный разгрузочный патрубок 13, имеющий в плане форму сектора кольца с радиусами дугового короба 11 (см. рис. 1).

Площадь поперечного сечения наклонного разгрузочного патрубка 13 должна быть не менее площади поперечного сечения осевого загрузочного патрубка 2 для предотвращения забивания материалом, движущимся в периферийной части корпуса 1 [1].

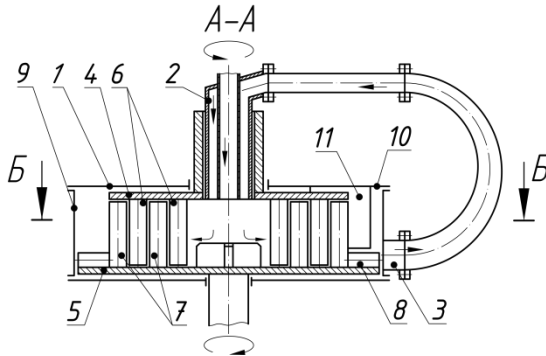


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – патрубок загрузочный; 3, – патрубок разгрузочный;
 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – лопатка радиальная;
 9, 10 – стенки; 11 – дуговой короб.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 2%, подается через загрузочный патрубок 2 в центральную часть корпуса 1 на нижний диск 5 и под действием центробежной силы на внутренний ряд ударных элементов 6. Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, принадлежащих верхнему диску 4, направляются к последующему ряду 7, где осуществляется помол материала. Пройдя все ряды ударных элементов 6 и 7, частицы материала выносятся посредством радиальных лопаток 8 в сторону внутренней поверхности цилиндрической стенки 9 корпуса 1. При этом крупные частицы за счет центробежной силы перемещаются вдоль радиальных лопаток 8, затем достигают внутренней поверхности цилиндрической стенки 9 корпуса 1 и выносятся в тангенциальный разгрузочный патрубок 3 и затем через осевой загрузочный патрубок 2 на дополнительное измельчение. Частицы готового продукта, перемещаясь по внутренним круговым траекториям и миновав зону действия тангенциального разгрузочного патрубка 3, попадают в дуговой короб 11 и в наклонный разгрузочный патрубок 13 и удаляются из корпуса 1 через отверстие 12 верхней стенки 10 [2].

Измельчение крупных частиц происходит до тех пор, пока они не будут направлены в дуговой короб 11 и наклонный разгрузочный патрубок 13, проходящий через отверстие 12 в верхней стенке 10 и в дуговом коробе 11. Таким образом, готовый продукт выгружается из корпуса 1 через наклонный разгрузочный патрубок 13. Угол наклона к

горизонту наклонного разгрузочного патрубка 13 должен конструктивно обеспечить выход готового продукта над верхней поверхностью верхней стенки 10.

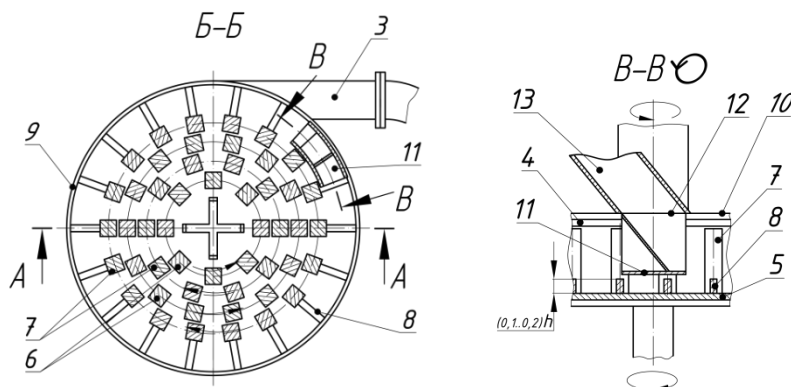


Рисунок 2. Разрез Б-Б и В-В:

3, 13 – патрубки разгрузочные; 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы;
8 – лопатка радиальная; 9, 10 – стенки; 11 – дуговой короб; 12 – отверстие.

Применение радиальных лопаток 8 обеспечивает интенсивное движение крупных частиц в сторону внутренней поверхности цилиндрической стенки 9 и тангенциального разгрузочного патрубка 3. Применение дугового короба 11 обеспечивает отбор частиц продукта по мере его готовности, после чего готовый продукт посредством радиальных лопаток 8 направляется в наклонный разгрузочный патрубок 13. Всё вышперечисленное позволяет обеспечить классификацию материала в периферийной части корпуса со своевременным отводом мелких частиц в дуговой короб и наклонный разгрузочный патрубок. Применение дезинтегратора предложенной конструкции значительно повышает эффективность процесса измельчения и производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Воронов В. П., Беляев Д. А., Ханин С. И. Определение условия выхода частицы материала в тангенциальный патрубок дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 11. С. 122-125.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С КЛАССИФИКАЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ

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

Бороздин Е. А., аспирант,

Севостьянов А. Э., аспирант,

Скитов И. А., магистрант,

Скитова В. М., магистрант

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

Дезинтеграторы являются одним из видов помольного оборудования, осуществляющего помол. В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, обеспечивающая классификацию материала в периферийной части корпуса (см. рис. 1).

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с загрузочным 2 и разгрузочным 3 устройствами. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов 6 и 7, соответственно, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположащего диска. При этом диски 4 и 5 расположены вертикально [1]. К периферийной части левого диска 4 за внешним рядом ударных элементов 7, принадлежащих правому диску 5, жестко прикреплен горизонтальный перфорированный цилиндр 8.

На внутренней стенке горизонтального перфорированного цилиндра 8 жестко прикреплена транспортирующая спиральная лента 9, высотой, превышающей $2d_{\max}$, где $d_{\max}$ – максимальный размер частицы готового продукта. К торцу горизонтального перфорированного цилиндра 8 жестко прикреплено левое вертикальное кольцо 10 с наружной ребристой поверхностью. К торцу правого диска 5 жестко прикреплено правое вертикальное кольцо 11 с внутренней ребристой поверхностью. Горизонтальный зазор между выступами ребер левого 10 и правого 11 вертикальных колец превышает $2d_{\max}$. Отверстия 12 горизонтального перфорированного цилиндра 8 выполнены в форме усеченного конуса, меньшее основание которого размером не менее $2d_{\max}$ расположено на внутренней стенке горизонтального перфорированного цилиндра 8. Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 2%, подается через загрузочное устройство 2 в центральную часть корпуса 1 на внутренний ряд ударных элементов 6. Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, принадлежащих левому диску 4, направляются к последующему ряду 7, принадлежащему правому диску 5, где осуществляется помол материала [2].

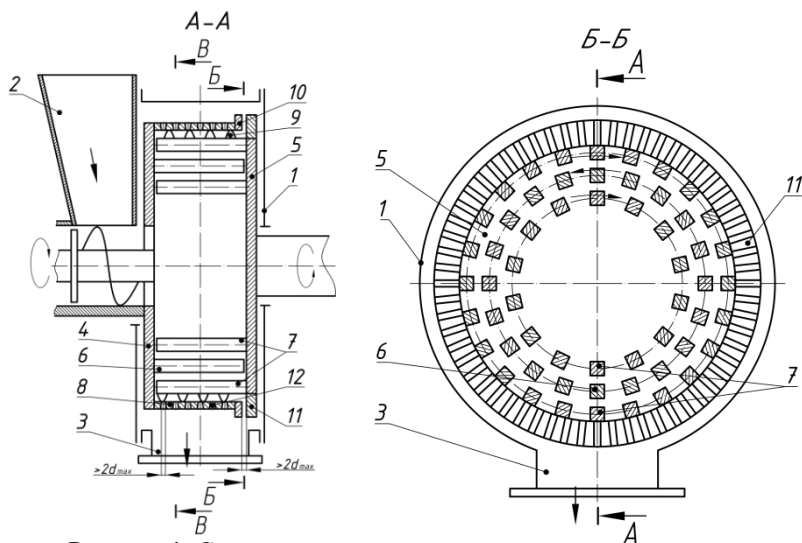


Рисунок 1. Схема

дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – устройство загрузочное; 3 – устройство разгрузочное;
 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – цилиндр перфорированный;
 9 – лента спиральная; 10, 11 – кольца; 12 – отверстие.

Пройдя все ряды ударных элементов 6 и 7, частицы материала выносятся в сторону горизонтального перфорированного цилиндра 8. Мелкие частицы проходят через отверстия 12 горизонтального перфорированного цилиндра 8 и направляются в сторону разгрузочного устройства 3. Крупные частицы, не прошедшие через отверстия 12, перемещаются в правую часть корпуса 1 за счет транспортирующей спиральной ленты 9. Далее под действием центробежной силы крупные частицы направляются в зазор между ребристыми поверхностями левого 10 и правого 11 вертикальных колец. В зазоре между ребристыми поверхностями левого 10 и правого 11 вертикальных колец осуществляется дополнительное измельчение крупных частиц. Здесь на частицы действуют ударные и истирающие нагрузки со стороны противоположно вращающихся ребристых поверхностей. После этого измельченные частицы также направляются в сторону разгрузочного устройства 3. Таким образом, готовый продукт выгружается из корпуса 1 через разгрузочное устройство 3 (см. рис. 2).

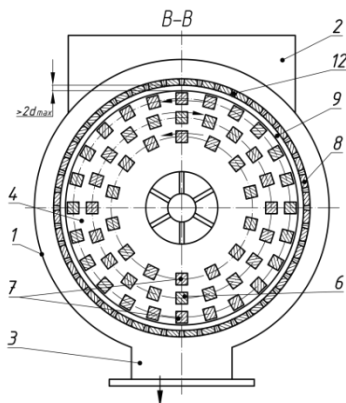


Рисунок 2. Разрез В-В:

- 1 – корпус; 2 – устройство загрузочное; 3 – устройство разгрузочное;
4 – диск; 6, 7 – ударные элементы; 8 – цилиндр перфорированный;
9 – лента спиральная; 12 – отверстие.

Для предотвращения забивания материалом зазора между ребристыми поверхностями левого 10 и правого 11 вертикальных колец величина горизонтального зазора должна превышать $2d_{\max}$. Применение горизонтального перфорированного цилиндра 8 с транспортирующей спиральной лентой 9, а также левого 10 и правого 11 вертикальных колец с ребристыми поверхностями обеспечивает разделение материала по крупности перед его выгрузкой из корпуса 1 и дополнительное измельчение крупных частиц.

Всё вышеперечисленное позволяет обеспечить классификацию материала в периферийной части корпуса, своевременный отвод мелких частиц в разгрузочное устройство и дополнительное измельчение крупных частиц. Применение дезинтегратора предложенной конструкции значительно повышает эффективность процесса измельчения и производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Воронов В. П., Вялых С. В., Маняхин А. С. К вопросу о пропускной способности узла предварительного измельчения и классификации материала в дезинтеграторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 119-123.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ

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

Бороздин Е.А., аспирант,

Севостьянов А.Э., аспирант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы являются наиболее эффективным оборудованием для помола, смешения и активации материалов. В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, обеспечивающей предварительное измельчение материала, что повышает эффективность процесса измельчения и производительности по готовому продукту.

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 устройствами. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов, соответственно 6 и 7, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска. В центре нижней поверхности верхнего диска 4 по окружности жестко прикреплены, например сваркой, вертикальные стойки 8, внутренние торцы которых находятся на одном диаметре с диаметром загрузочного устройства 2, а к нижним торцам жестко прикреплен, например сваркой, разгонный конус 9 с образующей, расположенной под углом, большим угла естественного откоса материала (см. рис. 1). На верхней поверхности разгонного конуса 9 симметрично в плане жестко закреплены, например сваркой, радиальные лопасти 10 с минимальным расстоянием между смежными радиальными лопастями 10, превышающем $D_{\max}$, где $D_{\max}$ – максимальный размер частиц измельчаемого материала. К нижнему основанию разгонного конуса 9 жестко прикреплен, например сваркой, внутренний вертикальный цилиндр 11, по высоте которого жестко закреплены, например сваркой, ряды ударных молотков 12. На верхней поверхности нижнего диска 5 посредством вертикальных держателей 13 жестко закреплен, например сваркой, внешний вертикальный цилиндр 14, на внутренней поверхности которого напротив каждого ряда ударных молотков 12 симметрично в плане жестко закреплены, например сваркой, призматические отбойники 15. Радиальный зазор между внутренним 11 и внешним 14 вертикальными цилиндрами превышает $2D_{\max}$. Радиальный зазор между внешними торцами ударных молотков 12 и призматическими

отбойниками 15 уменьшается от $D_{\max}$ до $(0,1...0,5)D_{\max}$ по направлению движения материала [1]. Вертикальный зазор между рядами призматических отбойников 15, а также между нижней кромкой внешнего цилиндра 14 и верхней поверхностью нижнего диска 5 превышает $D_{\max}$.

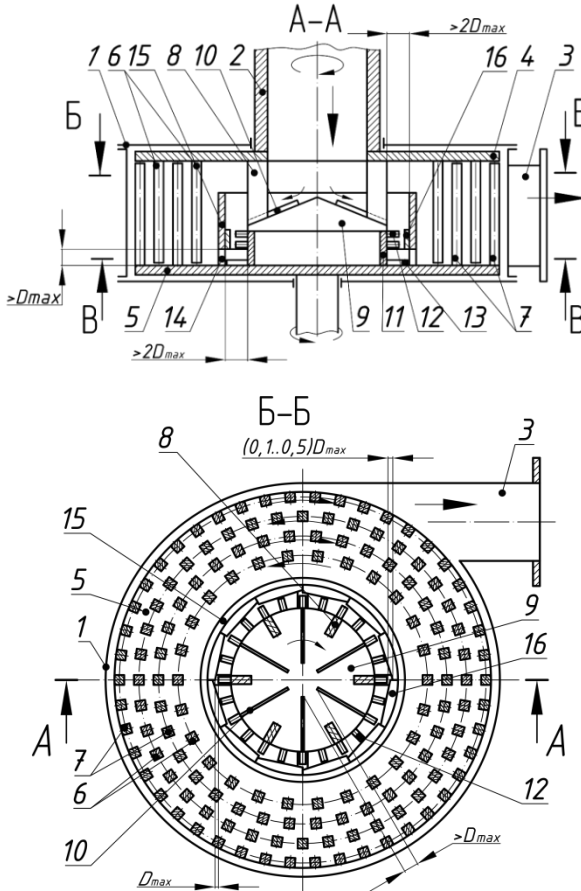


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – устройство загрузочное; 3 – устройство разгрузочное;
- 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – стойка вертикальная; 9 – конус;
- 10 – лопатка радиальная; 11, 14 – цилиндр; 12 – молотки;
- 13 – держатель; 15 – отбойник; 16 – бронеплита.

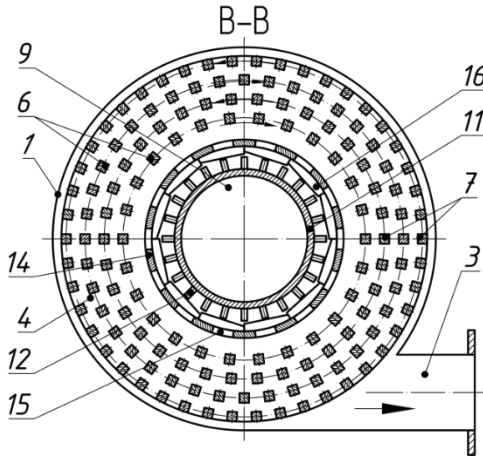


Рисунок 2. Разрез В-В:

1 – корпус; 3 – устройство разгрузочное; 4 – диск; 6, 7 – ударные элементы;
9 – конус; 11, 14 – цилиндр; 12 – молотки; 15 – отбойник; 16 – бронеплита.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например глина влажностью до 2%, подается через осевое загрузочное устройство 2 в центральную часть корпуса 1 на верхнюю поверхность разгонного конуса 9, закрепленного при помощи вертикальных стоек 8 к верхнему диску 4 и посредством радиальных лопаток 10 направляется в рабочий объем между внутренним цилиндром 11 с рядами ударных молотков 12 и внешним цилиндром 14 с рядами призматических отбойников 15. При встречном движении разгонного конуса 9 с внутренним цилиндром 11 с ударными молотками 12 и вертикальных держателей 13 с внешним цилиндром 14 и призматическими отбойниками 15, осуществляется предварительное разрушение кусков материала (см. рис. 2). После предварительного разрушения материала частицы выпадают на верхнюю поверхность нижнего диска 5. Достигнув поверхности нижнего диска 5, частицы под действием центробежной силы перемещаются под нижними кромками внешнего цилиндра 14 к внутреннему ряду ударных элементов 6, вращающемуся противоположно нижнему диску 5, на дальнейшее измельчение [2]. Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, направляются к последующим рядам 7, где осуществляется окончательный помол материала. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через тангенциальное разгрузочное устройство 3.

Применение разгонного конуса 9 с радиальными лопатками 10, расположенными под углом к горизонту, превышающим угол естественного откоса материала, обеспечивает интенсивную подачу материала в рабочий объем между внутренним 11 и внешним 14 цилиндрами, т. е. в зону предварительного измельчения материала. Применение ударных молотков 12 и призматических отбойников 15 обеспечивает последовательное ударное воздействие на материал перед его подачей на внутренний ряд ударных элементов 6. Минимальное расстояние между смежными радиальными лопатками 10, превышающее $D_{\max}$, определяется возможностью прохождения материала по верхней поверхности разгонного конуса 9. Радиальный зазор между внутренним 11 и внешним 14 вертикальными цилиндрами, превышающий $2D_{\max}$, предотвращает заклинивание материала в рабочем объеме между данными цилиндрами. Уменьшение радиального зазора между внешними торцами ударных молотков 12 и призматическими отбойниками 15 по направлению движения материала обеспечивает селективное воздействие на частицы материала со стороны ударных молотков 12 и призматических отбойников 15 в зависимости от размеров частиц. Величина вертикального зазора между рядами призматических отбойников 15, а также между нижней кромкой внешнего цилиндра 14 и верхней поверхностью нижнего диска 5 обеспечивает продвижение измельчаемого материала в направлении нижнего диска 5 и ударных элементов 6 внутреннего ряда. Симметричное в плане расположение радиальных лопаток 10, и вертикальных держателей 13 с призматическими отбойниками 15 обеспечивает балансировку верхнего 4 и нижнего 5 дисков. Применение дезинтегратора предложенной конструкции позволяет обеспечить предварительное измельчение частиц материала в центральной части корпуса до их попадания на внутренний ряд ударных элементов.

Это значительно повышает эффективность процесса измельчения, тем самым увеличивает производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Пат. 191526. Дезинтегратор / И. А. Семикопенко, Д. А. Беляев, Е. А. Бороздин; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. - №2019115757, заявл. 22.05.2019; опубл. 12.08.2019, бюл. №23. – 2 с.

ДЕЗИНТЕГРАТОР С РАЗБРАСЫВАТЕЛЕМ

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

Бороздин Е.А., аспирант,

Севостьянов А.Э., аспирант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы применяют в различных производствах в качестве малотоннажного оборудования для измельчения сырьевых компонентов. В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора с разбрасывателем, обеспечивающий повышение эффективности процесса измельчения.

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 устройствами. В корпусе 1 размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов, соответственно 6 и 7, каждый из которых расположен между рядами ударных элементов противоположного диска. В центре нижней поверхности верхнего диска 4 по окружности жестко прикреплены, например сваркой, вертикальные стойки 8, внутренние торцы которых находятся на одном диаметре с диаметром загрузочного устройства 2. К нижним торцам вертикальных стоек 8 жестко прикреплено, например сваркой, горизонтальное кольцо 9, к которому симметрично в плане жестко закреплены, например сваркой, призматические отбойники 10 с прямоугольными выступами 11 (см. рис. 1). На верхней поверхности нижнего диска 5 жестко закреплен, например сваркой, цилиндрический стакан 12 высотой $D_{\max}$, где $D_{\max}$ – максимальный размер частиц измельчаемого материала. В центре цилиндрического стакана 12 жестко закреплен, например сваркой, разбрасыватель 13 с радиальными лопатками 14 высотой $D_{\max}$, в конце которых на высоте и диаметре призматических отбойников 10 закреплены, например сваркой, ударные молотки 15 со сквозным прямоугольным пазом 16 на конце размерами $(0,5 \times 0,5)D_{\max}$. Цилиндрический стакан 12 имеет отбойные плиты 17, жестко закрепленные, например сваркой, на его внутренней стенке и сквозные тангенциальные трапецеидальные отверстия 18 по высоте цилиндрического стакана 12, внутренняя ширина которых равна $(0,1...0,5)D_{\max}$, а внешняя равна $D_{\max}$. Минимальный радиальный зазор

между призматическими отбойниками 10 и отбойными плитами 17 равен $D_{\max}$, а максимальный - $(2...3)D_{\max}$.

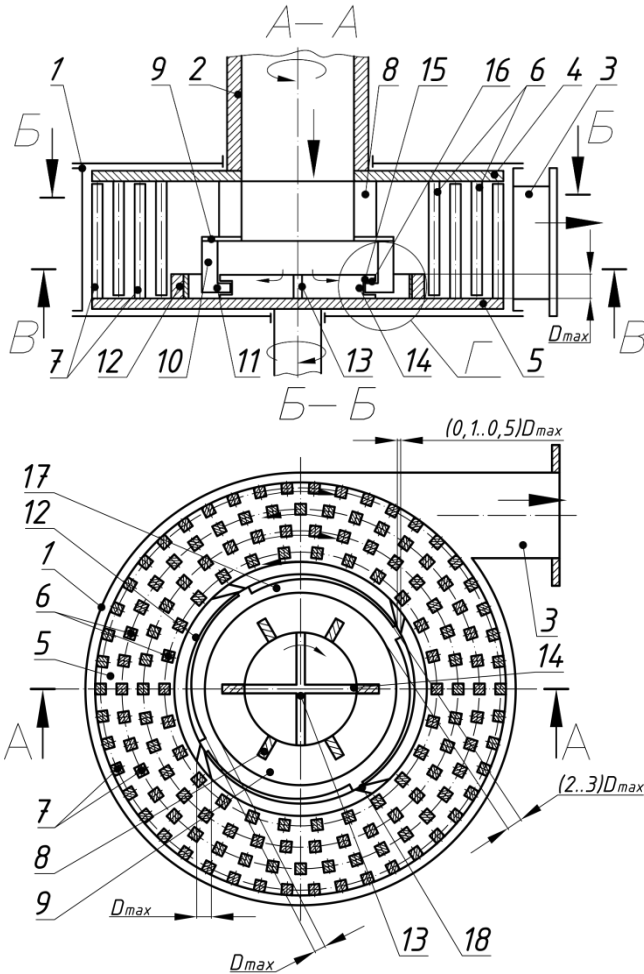


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

1 – корпус; 2 – устройство загрузочное; 3 – устройство разгрузочное;
4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы; 8 – стойка вертикальная; 9 – кольцо;
10 – отбойник; 11 – выступ; 12 – стакан; 13 – разбрасыватель; 14 – лопатка;
15 – молоток; 16 – паз сквозной; 17 – литая отбойная; 18 – отверстие.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например глина влажностью до 2%, подается через осевое загрузочное устройство 2 в центральную часть корпуса 1 во внутреннюю полость цилиндрического стакана 12. Куски материала попадают на разбрасыватель 13, захватываются радиальными лопатками 14 и перемещаются вдоль их рабочей поверхности [1]. Затем частицы материала достигают зоны действия ударных молотков 15 с прямоугольными пазами 16 и призматических отбойников 10 с прямоугольными выступами 11.

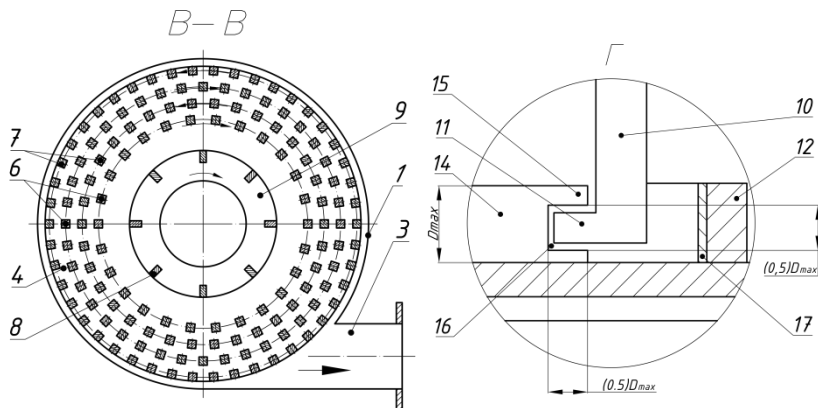


Рисунок 2. Разрез В-В и вид Г:

- 1 – корпус; 3 – устройство разгрузочное; 4 – диск; 6, 7 – ударные элементы; 8 – стойка вертикальная; 9 – кольцо; 10 – отбойник; 11 – выступ; 12 – стакан; 14 – лопатка; 15 – молоток; 16 – паз сквозной; 17 – литая отбойная.

При встречном движении ударных молотков 15 и призматических отбойников 10 осуществляется предварительное разрушение кусков материала в технологических зазорах между прямоугольными пазами 16 ударных молотков 15 и прямоугольными выступами 11 призматических отбойников 10. После предварительного разрушения материала частицы перемещаются по направлению движения призматических отбойников 10 в сторону отбойных плит 17, жестко закрепленных на внутренней стенке цилиндрического стакана 12. Мелкие частицы проходят через сквозные тангенциальные трапециевидные отверстия 18 и движутся в направлении внутреннего ряда ударных элементов 6 на дальнейшее измельчение (см. рис. 2). Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, направляются к последующим рядам 7, где осуществляется

окончательный помол материала. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через тангенциальное разгрузочное устройство 3.

Применение разбрасывателя 13 с радиальными лопатками 14 обеспечивает интенсивную подачу материала в зону действия встречно движущихся ударных молотков 15 и призматических отбойников 10. Применение отбойных плит 17 и трапецеидальных отверстий 18 обеспечивает дальнейшее измельчение частиц материала и своевременное удаление из цилиндрического стакана 12 мелких частиц [2]. Таким образом осуществляется последовательное ударное воздействие на материал и его классификация перед подачей на внутренний ряд ударных элементов 6. Величина радиального зазора между призматическими отбойниками 10 и отбойными плитами 17 определяется возможностью дальнейшего измельчения материала и исключает возможность его заклинивания между призматическими отбойниками 10 и отбойными плитами 17. Форма и размеры трапецеидальных отверстий 18 в цилиндрическом стакане 12 исключает их забивание материалом и обеспечивает прохождение необходимых по размеру частиц. Симметричное в плане расположение радиальных лопаток 14, и призматических отбойников 10 обеспечивает балансировку верхнего 4 и нижнего 5 дисков. Применение дезинтегратора предложенной конструкции позволяет обеспечить предварительное измельчение частиц материала в центральной части корпуса до их попадания на внутренний ряд ударных элементов.

Это значительно повышает эффективность процесса измельчения, тем самым увеличивает производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикалыцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Логачев И. Н., Смирнов Д. В., Беляев Д. А., Ханин С. И. Определение аэродинамического сопротивления патрубка рецикла воздуха экспериментальной установки дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 10. С. 132-137.
3. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Основные процессы в производстве строительных материалов. Белгород: ИзБГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. – 550 с.
4. Ходаков Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.

ДЕЗИНТЕГРАТОР

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

Севостьянов А.Э., аспирант,

Немыкин А.С., магистрант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Дезинтеграторы применяют для приготовления минеральных добавок в асфальтобетонные смеси. В данной статье предлагается описание конструкции дезинтегратора, обеспечивающей повышение истирающих нагрузок на материал в периферийной части корпуса, повышение эффективности процесса измельчения и производительности по готовому продукту.

Дезинтегратор содержит цилиндрический корпус 1 с осевым загрузочным 2 и тангенциальным разгрузочным 3 патрубками. В корпусе 1 друг над другом соосно размещены с возможностью встречного вращения диски 4 и 5 с рядами ударных элементов 6 и 7, каждый из которых расположен между соседними ударными элементами противоположащего диска. К внешней поверхности ударных элементов 7 внешнего ряда, по их высоте симметрично в плане жестко прикреплены тангенциальные патрубки 8 прямоугольного поперечного сечения. Между выходными отверстиями тангенциальных патрубков 8 жестко закреплены стенки 9 внутреннего цилиндра 10. К торцам диска 4 с предпоследним рядом ударных элементов 6 по высоте внутреннего цилиндра 10 жестко прикреплен внешний цилиндр 11, образованный горизонтальными кольцами 12 с вертикальными перемычками 13. На внешней поверхности внутреннего цилиндра 10 и внутренней поверхности внешнего цилиндра 11 жестко закреплены горизонтальные щетки 14 с рядами горизонтальных элементов 15 круглого поперечного сечения, которые последовательно чередуются с технологическими зазорами по высоте цилиндров 10 и 11. Между горизонтальными кольцами 12 внешнего цилиндра 11 по его периметру расположены разгрузочные щели 16 трапецеидального поперечного сечения с высотой на внутренней поверхности, превышающей $2d_{\max}$ где $d_{\max}$ – максимальный размер частиц готового продукта. Боковые вертикальные стенки тангенциальных патрубков 8 сходятся в точках, расположенных на осях дисков 4 и 5, диаметр которых равен диаметру внешнего цилиндра 11 (см. рис. 1).

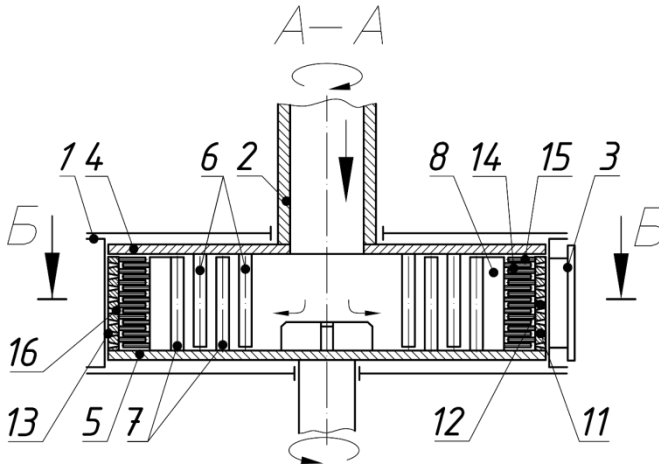


Рисунок 1. Схема дезинтегратора:

- 1 – корпус; 2 – патрубок загрузочный; 3 – патрубок разгрузочный; 4, 5 – диски;
6, 7 – ударные элементы; 8 – патрубок тангенциальный; 11 – цилиндр;
12 – кольцо; 13 – перемычка; 14 – щетка; 15 – пруток; 16 – щель.

Дезинтегратор работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 2%, подается через загрузочный патрубок 2 в центральную часть корпуса 1 на нижний диск 5 и под действием центробежной силы на внутренний ряд ударных элементов 6. Частицы, прошедшие внутренний ряд ударных элементов 6, принадлежащих верхнему диску 4, направляются к последующему ряду 7, принадлежащему нижнему диску 5, где осуществляется помол материала. Пройдя все ряды ударных элементов 6 и 7, предварительно измельченные частицы материала выносятся в тангенциальные патрубки 8 прямоугольного поперечного сечения и направляются в рабочее пространство между внешней поверхностью стенок 9, принадлежащих внутреннему цилиндру 10 и внутренней поверхностью горизонтальных колец 12, принадлежащих внешнему цилиндру 11, расположенных между внешним рядом ударных элементов 7 и внутренней поверхностью корпуса 1. Так как внутренний 10 и внешний 11 цилиндры вращаются в противоположных направлениях, то частицы материала испытывают интенсивные истирающие воздействия в технологических зазорах между горизонтальными элементами 15 круглого поперечного сечения горизонтальных щеток 14, вращающимися во встречных направлениях.

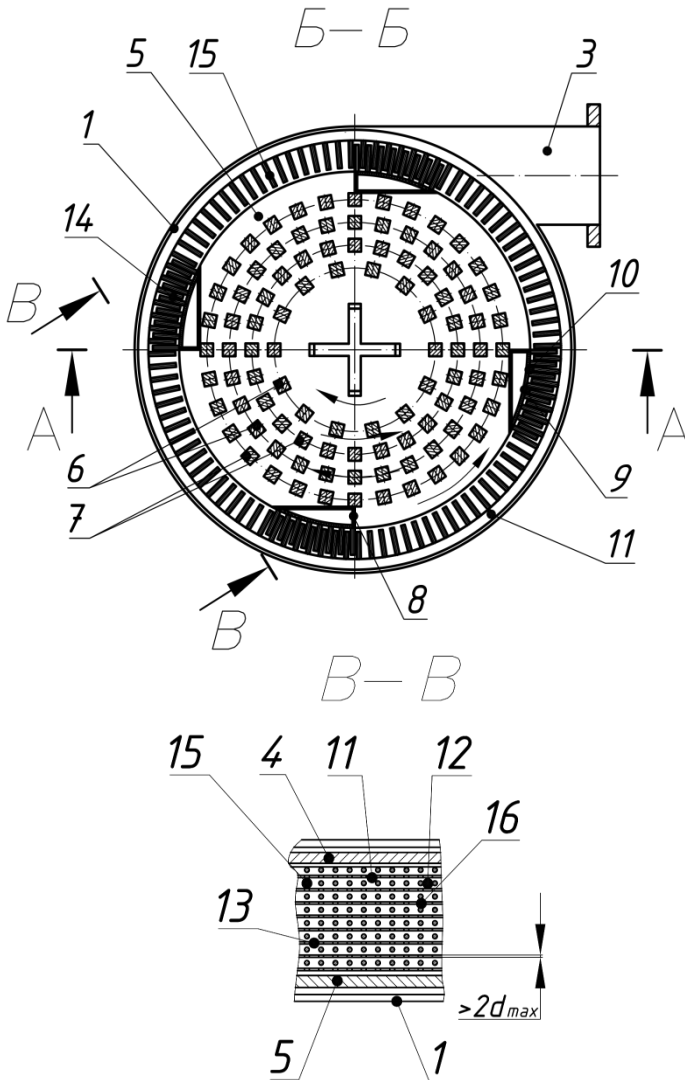


Рисунок 2. Разрез Б-Б и В-В:

1 – корпус; 3 – патрубок разгрузочный; 4, 5 – диски; 6, 7 – ударные элементы;
 8 – патрубок тангенциальный; 9 – стенка; 10, 11 – цилиндр; 12 – кольцо;
 13 – перемычка; 14 – щетка; 15 – прут; 16 – щель.

По мере готовности частицы материала проникают через трапецеидальные разгрузочные щели 16, образованные горизонтальными кольцами 12 и вертикальными перемычками 13 во внешнем цилиндре 11 и выносятся по направлению вращения данного цилиндра в тангенциальный разгрузочный патрубок 3 корпуса 1.

Применение тангенциальных патрубков 8 обеспечивает интенсивную подачу предварительно измельченного материала в рабочее пространство между внешней поверхностью внутреннего цилиндра 10 и внутренней поверхностью внешнего цилиндра 11, вращающихся в противоположных направлениях. Наличие внутреннего 10 и внешнего 11 цилиндров с горизонтальными элементами 15 горизонтальных щеток 14 обеспечивает повышение концентрации частиц в рабочем пространстве между внутренним 10 и внешним 11 цилиндрами, что приводит к интенсивному воздействию на частицы со стороны противоположно вращающихся горизонтальных щеток 14 с рядами горизонтальных элементов 15, принадлежащих внутреннему 10 и внешнему 11 цилиндрам. Высота разгрузочных щелей 16 на внутренней поверхности смежных горизонтальных колец 12, превышающая $2d_{\max}$, связана с условием выхода частиц готового продукта через данные щели. Трапецеидальная форма поперечного сечения разгрузочных щелей 16 выполнена для исключения их забивания измельчаемым материалом.

Всё вышеперечисленное позволяет обеспечить повышение истирающих нагрузок на материал в периферийной части корпуса. Применение дезинтегратора предложенной конструкции значительно повышает эффективность процесса измельчения и производительность по готовому продукту.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Пат. 191644. Дезинтегратор / И. А. Семикопенко, Д. А. Беляев, Е. А. Бороздин; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. - №2019115760, заявл. 22.05.2019; опубл. 14.08.2019, бюл. №23. – 6 с.
3. Богданов В. С., Ильин А. С., Семикопенко И. А. Основные процессы в производстве строительных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. – 550 с.

ДИСКОВЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ

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

Севостьянов А.Э., аспирант,

Немыкин А.С., магистрант,

Скитов И.А., магистрант,

Скитова В.М., магистрант

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

Центробежные измельчители применяют в настоящее время в промышленности строительных материалов в качестве малотоннажного оборудования для приготовления различных мелкозернистых материалов.

В данной статье предлагается описание конструкции центробежного дискового измельчителя, обеспечивающей повышение эффективности процесса измельчения и производительности по готовому продукту.

Центробежный дисковый измельчитель содержит цилиндрический корпус 1 с загрузочным 2 и разгрузочным 3 патрубками, противоположно вращающиеся верхний 4 и нижний 5 диски. Верхний диск 4 вращается от загрузочного патрубка 2, а нижний диск 5 вращается от нижнего вала 6. Нижний диск 5 имеет верхнюю коническую поверхность с углом наклона образующей к горизонту, превышающем угол естественного откоса материала. Минимальный зазор между верхней конической поверхностью нижнего диска 5 и нижней конической поверхностью верхнего диска 4 равномерно уменьшается от центра дисков 4 и 5 к их периферии от $2D_{\max}$ до $(0,1...0,5)D_{\max}$, где $D_{\max}$ – максимальный размер частиц измельчаемого материала. При этом образуется угол между нижней конической поверхностью верхнего диска 4 и верхней конической поверхностью нижнего диска 5, на которых жестко закреплены радиальные лопасти, соответственно 7 и 8, прямоугольного поперечного сечения, высота которого уменьшается от центра дисков 4 и 5 к их периферии пропорционально уменьшению зазора между ними [1]. Минимальное расстояние между смежными радиальными лопастями 7 верхнего 4 и 8 нижнего 5 дисков превышает $2D_{\max}$. Верхняя часть радиальных лопастей 8 нижнего диска 5 и нижняя часть радиальных лопастей 7 верхнего диска 4 имеет буртик 9 по ширине и длине каждой радиальной лопасти 7 и 8 по направлению её вращения (см. рис. 1). Периферийные участки в конце радиальных лопастей 7 верхнего диска 4 и 8 нижнего диска 5 выполнены в форме гребенок 10 и 11 с выступами 12, 13 и канавками 14,

15, соответственно, высота которых равномерно уменьшается от центра дисков 4, 5 к их периферии пропорционально уменьшению зазора между дисками 4 и 5.

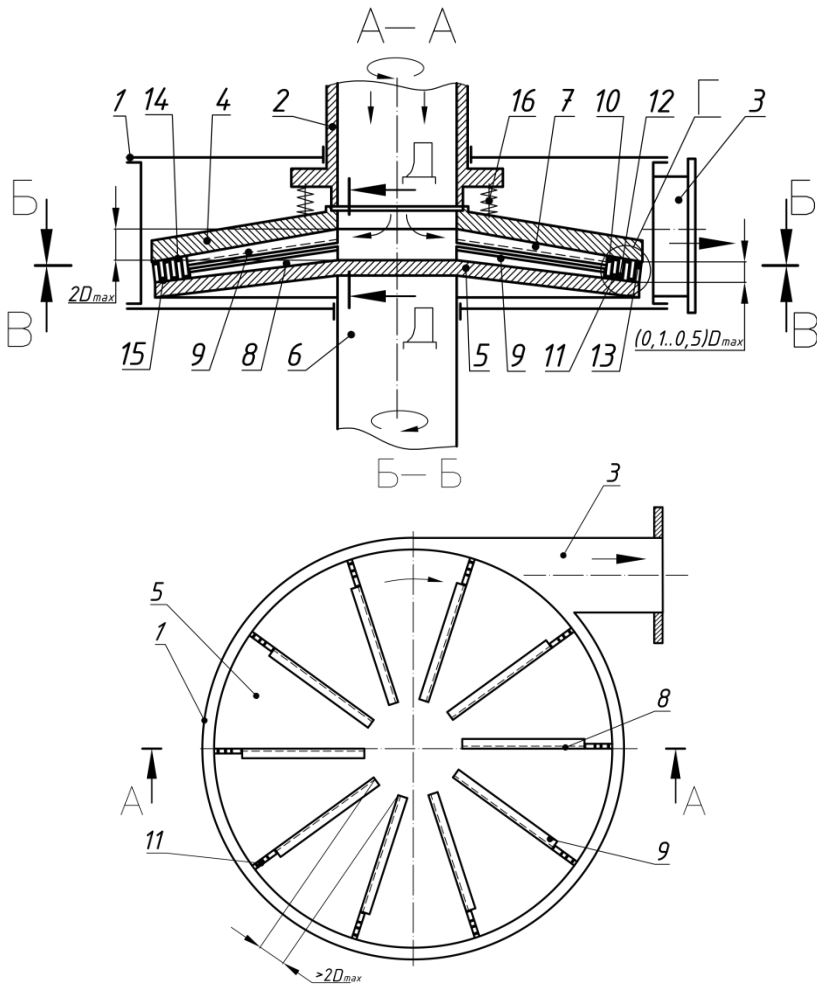


Рисунок 1. Схема дискового измельчителя:

1 – корпус; 2 – патрубок загрузочный; 3 – патрубок разгрузочный; 4, 5 – диски; 6 – вал нижний; 7, 8 – лопасти; 9 – буртик; 10, 11 – гребенки; 12, 13 – выступы; 14, 15 – канавки; 16 – опора пружинная.

Между выступами 12 на гребенках 10 верхнего диска 4 и канавками 15 на гребенках 11 нижнего диска 5, а также между выступами 13 на гребенках 11 нижнего диска 5 и канавками 14 на гребенках 10 верхнего диска 4, а также между кромками буртиков 9 двух дисков 4 и 5 имеется технологический зазор [2]. Для предотвращения заклинивания материала в рабочем объеме между дисками 4 и 5 верхний диск 4 крепится с помощью пружинной опоры 16.

Центробежный дисковый измельчитель работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 2%, попадает в загрузочный патрубок 2, затем в рабочий объем между коническими поверхностями нижнего 5 и верхнего 4 дисков, вращающихся в противоположные стороны соответственно от нижнего вала 6 и загрузочного патрубка 2. Частицы материала падают на верхнюю поверхность нижнего диска 5, захватываются радиальными лопастями 8 данного диска и перемещаются вдоль их рабочей поверхности к периферии дисков 4 и 5.

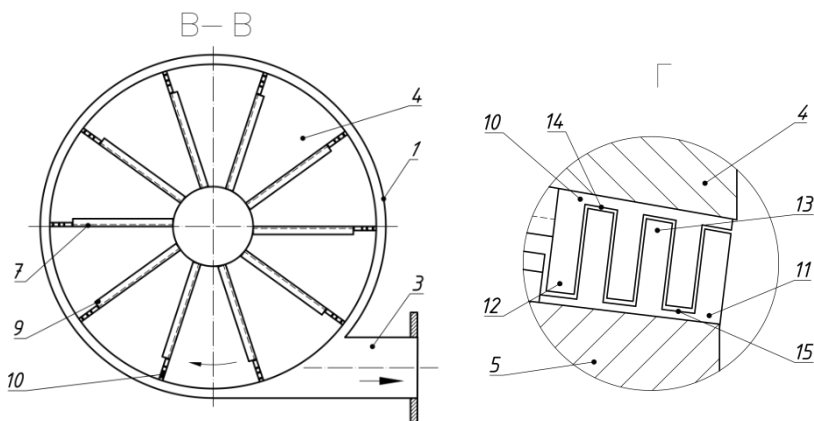


Рисунок 2. Разрез В-В и вид Г:

1 – корпус; 3 – патрубок разгрузочный; 4, 5 – диски; 7 – лопасти; 9 – буртик; 10, 11 – гребенки; 12, 13 – выступы; 14, 15 – канавки.

При данном перемещении во время вращения дисков 4 и 5 крупные частицы материала разрушаются в технологических зазорах между кромками встречно движущихся буртиков 9, принадлежащих радиальным лопастям 7 и 8 соответственно дисков 4 и 5. Затем предварительно измельченные частицы, минуя зону действия радиальных лопастей 7 и 8, достигают зоны действия гребенок 10 и 11

дисков 4 и 5 и измельчаются за счет раздавливания и истирания в технологических зазорах между канавками 15 на гребенках 11 нижнего диска 5 и выступами 12 на гребенках 10 верхнего диска 4, а также между канавками 14 на гребенках 10 верхнего диска 4 и выступами 13 на гребенках 11 нижнего диска 5.

Недробимые куски материала разгружаются за счет поднятия верхнего диска 4 при сжатии пружинной опоры 16. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через разгрузочный патрубок 3. Для обеспечения перемещения частиц от центра нижнего диска 5 к его периферии верхняя поверхность нижнего диска 5 выполнена конической с углом наклона образующей, превышающей угол естественного откоса материала. Так как частицы материала при перемещении от центра к периферии дисков 4 и 5 уменьшаются в размерах, соответственно равномерно уменьшается высота поперечного сечения радиальных лопастей 7 и 8, а также выступов 12, 13 и канавок 14, 15 на гребенках 10 и 11, жестко закрепленных на верхнем 4 и нижнем 5 дисках. Конструкция центробежного дискового измельчителя с противоположно вращающимися нижним 5 и верхним 4 дисками, имеющими конические рабочие поверхности, на которых жестко закреплены радиальные лопасти 7 и 8 и гребенки 10 и 11, позволяет обеспечить селективное воздействие на измельчаемый материал в зависимости от крупности частиц.

Все вышесказанное позволит повысить эффективность процесса измельчения, тем самым увеличить производительность по готовому классу измельчаемого материала.

Библиографический список:

1. Хинт И. А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Воронов В. П., Смирнов Д. В. Расчет мощности, затрачиваемой на движение двухфазной среды в патрубке рецикла дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2019. № 1. С. 119-123.
3. Семикопенко И. А., Воронов В. П., Юрченко А. С. Расчет оптимального диаметра шнекового питателя для подачи материала в камеру помола дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017 №3. С. 85-87.
4. Логачев И. Н., Логачев К. И., Минко В. А. Обеспыливающая вентиляция. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. 564 с.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ДИСКОВЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ

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

Севостьянов А. Э., аспирант,

Немыкин А. С., магистрант,

Скитов И. А., магистрант,

Скитова В. М., магистрант

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

Центробежные дисковые измельчители применяют в различных производствах в качестве оборудования истирающего действия. В данной статье предлагается описание конструкции центробежного дискового измельчителя, обеспечивающего помол твердых сухих материалов.

Центробежный дисковый измельчитель содержит цилиндрический корпус 1 с загрузочным 2 и разгрузочным 3 патрубками, противоположно вращающиеся верхний 4 и нижний 5 диски. Нижний диск 5 имеет верхнюю коническую рабочую поверхность 6 с углом наклона β образующей к горизонту, превышающем угол α естественного откоса материала. Нижняя коническая рабочая поверхность 7 верхнего диска 4 и верхняя коническая рабочая поверхность 6 нижнего диска 5 имеют концентрические выступы 8 и 9 и впадины 10 и 11 соответственно, с поперечным сечением в форме полукруга, радиус которого уменьшается от центра дисков 4 и 5 к их периферии. Концентрические выступы 8 нижней конической рабочей поверхности 7 верхнего диска 4 входят в концентрические впадины 11 верхней конической рабочей поверхности 6 нижнего диска 5 с зазором, равномерно уменьшающимся от центра дисков 4 и 5 к их периферии от $(1...2)D_{\max}$ до $(0,1...0,2)D_{\max}$, где $D_{\max}$ – максимальный размер частиц исходного материала. При данном расположении концентрических выступов и впадин образуется угол между нижней конической рабочей поверхностью 7 верхнего диска 4 и верхней конической рабочей поверхностью 6 нижнего диска 5. Концентрические выступы 9 верхней конической рабочей поверхности 6 нижнего диска 5 по направлению его вращения имеют тангенциальные вырезы 12 прямоугольного поперечного сечения. В центре нижнего диска 5 жестко закреплен лопастной разбрасыватель 13, напротив которого на нижней конической рабочей поверхности 7 верхнего диска 4 жестко закреплено отбойное кольцо 14 с наклонной рабочей поверхностью (см. рис. 1).

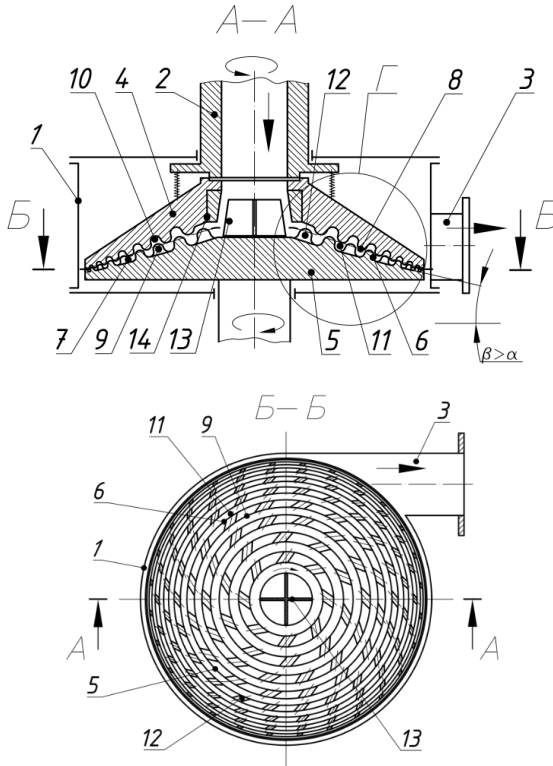


Рисунок 1. Схема дискового измельчителя:

- 1 – корпус; 2 – патрубок загрузочный; 3 – патрубок разгрузочный;
 4, 5 – диски; 6, 7 – поверхность коническая; 8, 9 – концентрические выступы;
 10, 11 – впадины; 12 – вырез тангенциальный; 13 – лопастной разбрасыватель; 14 – кольцо отбойное.

Центробежный дисковый измельчитель работает следующим образом. Измельчаемый материал, например известняк влажностью до 2%, попадает в загрузочный патрубок 2, после чего под действием силы тяжести направляется на лопастной разбрасыватель 13 и отбрасывается на рабочую поверхность отбойного кольца 14, жестко закрепленного в верхней части верхнего диска 4 [1]. Здесь частицы материала предварительно измельчаются, при этом средние и мелкие частицы просыпаются соответственно в среднюю и нижнюю часть рабочего пространства между верхним 4 и нижним 5 дисками, а крупные частицы

попадают в зазор между концентрическими выступами 8 нижней конической рабочей поверхности 7 верхнего диска 4 и концентрическими впадинами 11 верхней конической рабочей поверхности 6 нижнего диска 5, а также между концентрическими выступами 9 верхней конической рабочей поверхности 6 нижнего диска 5 и концентрическими впадинами 10 нижней конической рабочей поверхности 7 верхнего диска 4 (см. рис. 2).

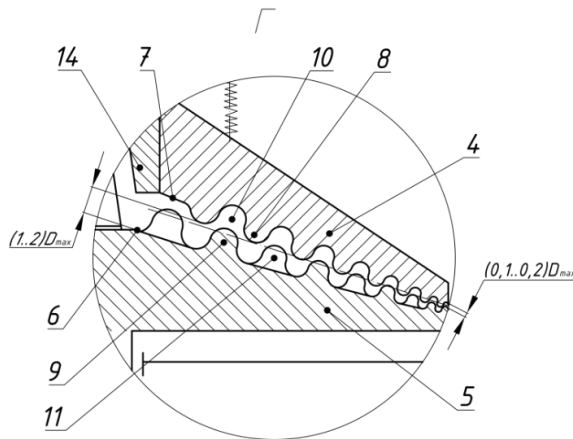


Рисунок 2. Вид Г:

4, 5 – диски; 6, 7 – поверхность коническая; 8, 9 – концентрические выступы; 10, 11 – впадины; 14 – кольцо отбойное.

Крупные частицы измельчаются в верхней части рабочего пространства между дисками 4 и 5 за счет раздавливания и истирания. Аналогичным образом происходит измельчение средних и мелких частиц. По мере уменьшения размеров частиц происходит их продвижение от центра вращения дисков 4 и 5 к их периферии посредством тангенциальных вырезов 12 и затем в сторону разгрузочного патрубка 3. При значительной частоте встречного вращения верхнего 4 и нижнего 5 дисков частицы материала испытывают интенсивные раздавливающие и истирающие нагрузки, что увеличивает эффективность измельчения. Готовый продукт вылетает из корпуса 1 через разгрузочный патрубок 3.

Величина максимального зазора между соответствующими концентрическими выступами 8, 9 и впадинами 10, 11 конических рабочих поверхностей дисков 4 и 5 обусловлена возможностью подачи и захвата кусков материала с максимальным размером, а величина

минимального зазора - возможностью получения готового продукта определенного класса. Установка верхней конической рабочей поверхности 6 нижнего диска 5 с углом β наклона образующей к горизонту, превышающем угол α естественного откоса материала, обеспечивает повышение интенсивности прохождения частиц материала в рабочем пространстве между коническими рабочими поверхностями 6 и 7 и повышение интенсивности их воздействия на материал. Угол между нижней конической рабочей поверхностью 7 верхнего диска 4 и верхней конической рабочей поверхностью 6 нижнего диска 5 обеспечивает распределение частиц по длине рабочего пространства от центра дисков 4, 5 к их периферии в зависимости от их крупности, то есть селективное воздействие на материал [2]. По мере продвижения материала от центра дисков 4 и 5 к их периферии размер частиц уменьшается, с чем связано равномерное уменьшение зазоров между концентрическими выступами 8 нижней конической рабочей поверхности 7 верхнего диска 4 и концентрическими впадинами 11 верхней конической поверхности 6 нижнего диска 5, а также радиальных размеров указанных выступов и впадин. Наличие тангенциальных вырезов 12 в концентрических выступах 9 верхней конической рабочей поверхности 6 нижнего диска 5 обеспечивает передвижение материала от центра к периферии дисков 4 и 5 по мере его измельчения. Таким образом, осуществляется селективное воздействие на частицы материала по мере уменьшения их размеров.

Все вышесказанное позволит повысить эффективность процесса измельчения и увеличить производительность по готовому продукту за счет селективного воздействия на измельчаемый материал.

Библиографический список:

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. – 636 с.
2. Семикопенко И. А., Логачев И. Н., Смирнов Д. В. Определение граничного размера частиц измельченного в дезинтеграторе материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 156-160.

МОБИЛИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ БЕЛАРУСИ

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

За постсоветский период Беларусь к своему 15-20 летнему технологическому отставанию от передовых стран добавила еще 20-30 лет и находится в последней пятерке самых отсталых стран Европы. Такое положение обусловлено тем, что наши производства чрезвычайно энергоёмки и затратны, а их продукция не только обладает низкой прибавочной стоимостью, но и не конкурентна на мировом рынке. Все это в итоге привело к индустриальному упадку и деградации национальной экономики [1].

Исходными причинами сложившейся ситуации является раздел Советского Союза, энергозависимость от внешних источников, потеря традиционных рынков, внешняя товарная интервенция, потеря кадрового потенциала, слом системы образования, особенно инженерного, извращение всей структуры организации и финансирования НИОК(Т)Р, отсутствие реалистического планирования, организационные ошибки, самоотстранение исполкомов всех уровней от инициирования перспективных проектов, структурный перекос отраслей промышленности, слабый уровень законодательных решений (актов) и многое другое, что в итоге привело к катастрофическому регрессу отечественной экономики и угрозе национального суверенитета.

Наиболее угрожающим является состояние машиностроения, доля которого в ВВП по сравнению с 1991 годом уменьшилась в 3,5-4 раза и имеет тенденции к дальнейшему снижению. Учитывая, что машиностроительный комплекс не только составная часть экономики страны, но и её локомотив, определяющий общий уровень развития народного хозяйства и социальной сферы, его следует рассматривать как ключевое звено национального развития.

Выходом из сложившейся ситуации может быть индустриальное возрождение промышленности на основе создания эффективных производств, создание принципиально новой продукции мирового уровня, прежде всего машин, оборудования, приборов электронной техники, высокоэффективных технологий, поиска резервов энергосбережения, освоение новых рынков продаж, раскрепощение созидательной деятельности населения. Стратегий реализации этого направления может быть несколько и их следует предметно оценивать применительно к условиям Беларуси[2].

Наше предложение по данному вопросу основано на собственной энерготехнологической концепции национальной безопасности и устойчивого развития. К настоящему времени она представлена научной общественности и имеет признание как приоритетная. Суть её сводится к тому, что на основе анализа развития мировой технологической сферы выявлены потенциально новые резервы повышения эффективности базовых отраслей промышленности, составлен прогноз развития мировой экономики и предложены возможные варианты индустриализации производственной сферы путем создания технологической отрасли машиностроения Беларуси [3].

К пониманию сложившейся в Беларуси общей экономической ситуации следует включить действующий режим, который потенциально не способен решать комплексные национальные задачи. И ярким примером здесь может служить последняя пятилетка, где машиностроение страны понесло наибольшие за весь свой исторический период потери. Самыми невосполнимыми из них следует считать кадровые, связанные с выездом за пределы страны большого числа специалистов. К этому следует добавить низкий уровень планирования национального развития, искаженную систему создания новых видов конкурентной на мировом рынке продукции, а также большей пропагандой работ а также большим пропагандистским искажением ым состоянием экономики.

В соответствии с общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности», утвержденным постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 5 декабря 2011 г. № 85 «Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2012 г., № 43, 8/24941) к машиностроительной отрасли относятся следующие виды экономической деятельности:

1. подсекция СН «Металлургическое производство. Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования»;
2. подсекция СК «Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки»;
3. подсекция СИ «Производство вычислительной, электронной и оптической аппаратуры»;
4. подсекция СЛ «Производство электрооборудования»;

5. подсекция СЛ «Производство транспортных средств и оборудования».

Даже беглого взгляда достаточно, чтобы удостовериться, что подсекция СН «Металлургическое производство. Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования» к машиностроительному производству никоим образом не относится. Подобная классификация искажает истинное положение вещей и вводит в заблуждение общественность. В связи с этим возникает задача формирования новой экономически и технически выверенной стратегии развития машиностроения с целью повышения общественного производства в целом.

Проблема инновационного развития отечественного машиностроения носит многоплановый характер и её следует рассматривать с учётом всех обуславливающих её факторов и условий, которые могут включать в себя следующие основные составляющие:

1. Подготовку высококвалифицированных специалистов, прежде всего инженеров и технологов;
2. Разработку национальной стратегии развития машиностроения;
3. Решение организационных вопросов формирования эффективной технологической структуры машиностроения;
4. Формирование программы создания принципиально новых изделий машиностроения;
5. Мероприятий по обеспечению практического развития машиностроительного комплекса;
6. Организацию совместных проектов и производств с зарубежными партнерами;
7. Обеспечение финансовой поддержки осуществления модернизации существующих машиностроительных предприятий и созданию новых;
8. Широкое научное сопровождение развития машиностроения и создания новых машин, оборудования и технологий;
9. Материальное стимулирование разработчиков новых машин, оборудования и технологических комплексов;
10. Подготовку и расстановку руководящих кадров в управлении и производстве;
11. Информационное обеспечение развития машиностроительного комплекса.

Комплексный подход к решению перечисленных задач и их планомерная реализация позволит отечественному машиностроению

выйти на более высокий уровень технологического развития. Считаем необходимым отметить, что дальнейшее ухудшение состояния отрасли недопустимо и для её перевода в фазу устойчивого развития на государственном уровне требуется принятие незамедлительных решений по важнейшим направлениям, которые способны это обеспечить. Целостная идеология осуществления комплексной модернизации белорусского машиностроения проработана нашими специалистами, она принята и одобрена научным сообществом и получила положительную оценку промышленников. Сегодня нужна мобилизационная стратегия развития, основанная на директивном принятии решений и концентрации на их выполнении всех имеющихся ресурсов. Выделим наиболее важные из решаемых задач и их структурное наполнение.

ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

1. Сложившаяся ситуация с подготовкой инженеров, особенно конструкторов в республике доведена до ситуации, угрожающей национальным интересам. ВУЗы поставлены в такие условия, что не в состоянии обеспечить промышленность высококвалифицированными специалистами.

2. Массовый переход на 4-х летнее обучение является тупиковым решением. Сегодня нужен переход на шестилетнее образование, с предшествующим отбором подготовленных абитуриентов.

3. Ежегодно для прогрессивного роста промышленности требуется только конструкторов 2,5 - 3,0 тысячи человек.

4. В стране необходимо организовать обучение студентов по новым специальностям, соответствующим мировым тенденциям развития, в частности по проектированию технологических комплексов для промышленных предприятий.

5. Без решения проблемы подготовки квалифицированных инженеров, машиностроение в Беларуси не имеет будущего.

6. Выпускникам университетов должно быть гарантировано желаемое трудоустройство, обеспеченность жильем и достойная заработная плата.

РАЗРАБОТКА НАЦИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

1. Формирование Комиссии из независимых экспертов и специалистов высокого уровня для объективной оценки состояния и проблемы развития машиностроения в Беларуси.

2. Обоснование концептуальной идеологии развития машиностроительного комплекса страны на основе оценки имеющегося потенциала и перспектив его приращения с учётом общемировых тенденций и технологического уровня Беларуси.

3. Критический пересмотр базовых положений республиканских программ развития машиностроения, национальной стратегии устойчивого развития (НСУР) и других нормативных документов с целью внесения в них жизненно необходимых изменений и дополнений.

4. Информационное обеспечение развития машиностроения в т.ч. для самой широкой аудитории.

5. Всестороннее обсуждение вопросов инновационной модернизации машиностроения в среде научно-технической общественности с целью дополнительной оценки и получения критических замечаний и предложений.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПУТИ ЕЁ ИННОВАЦИОННОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

1. Создание банка научно-технических разработок белорусских ученых и специалистов в области машиностроения и передовых технологий.

2. Приглашение зарубежных специалистов и экспертов для участия в решении проблем развития машиностроения.

3. Изменение ряда положений патентного Закона РБ, в частности уменьшение госпошлины в два-три раза и создание механизмов разрешения патентных споров и стимулирования разработчиков.

4. Создание на крупных предприятиях научно-технических центров (НТЦ), в том числе с привлечением вузовских и академических ученых и специалистов.

5. Организация лабораторий, конструкторских бюро (КБ) и малых предприятий для ускоренного решения научно-практических задач и создания опытных образцов техники с распределением их инфраструктуры по всей территории Республики Беларусь.

6. Осуществление "принудительной" приватизации неэффективного госфонда и имущества для передачи заинтересованным разработчикам и производителям.

7. Пересмотр системы банкротства предприятий, которая является не только неэффективной, но в ряде случаев антигосударственной, например, в Могилеве: завод "Строммашина" и мотороремонтный завод.

8. Организация отбора и выкуп на лицензионной основе у отечественных разработчиков (частных предпринимателей, вузовских работников и т.д.) перспективных технических объектов и технологий.

ПРОГРАММА СОЗДАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

1. Разработка общенациональной системы разработки машиностроения мирового уровня.

2. Создание НИИ и КБ промышленных технологий и комплексов с опытным производством.

3. Заключение лицензионных соглашений с потенциальными владельцами инновационных разработок.

4. Технологическая модернизация заводов под создаваемую новую конкурентоспособную продукцию.

5. Создание национального банка промышленных технологий, обеспечивающих высокую эффективность при использовании в народном хозяйстве.

6. Введение в облисполкомах (горисполкомах) должностей заместителей председателей по науке и индустриализации (технологическому развитию) с соответствующими полномочиями и финансовыми фондами.

7. Уменьшение учебной нагрузки вузовским ученым, активно занимающихся научно-техническими разработками.

8. Упразднение документооборота по подготовке проектов госфинансирования и вывод их основной части, связанной с созданием традиционной продукции, от обязательного прохождения экспертизы.

9. Целевое использование собственных средств предприятий на инновационное развитие.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

1. Разработка комплексной программы технологической модернизации базовых предприятий Беларуси.

2. Пересмотр структуры производимой продукции и обеспечение предпочтений предприятиям, обладающим инновационностью своей деятельности.

3. Обеспечение беспрепятственного допуска внешних специалистов (ВУЗы, НАН Беларуси) на действующие производства, с возможностью получения объективной информации об эффективности их функционирования.

4. Создание институтов генеральных конструкторов в составе крупных ведомств, концернов и предприятий.

5. Приоритетное развитие разработок, направленных на существующую экономию топливных и материальных ресурсов.

6. Аудит предприятий с высокими издержками всех видов и принуждением к достижению нормативно оправданных норм расхода ресурсов.

7. Стимулирование эффективно работающих предприятий всеми возможными способами.

8. Строительство ежегодно новых машиностроительных заводов с общей численностью не менее 5000 рабочих мест.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. Кардинальные изменения финансирования НИОК(Т)Р, в том числе в «губительной» системе прохождения большой массы проектов через экспертизу в ГКНТ.

2. Перевести основную часть инновационных проектов в режим венчурного финансирования и кардинальное ускорение времени между подачей проектов и началом перечисления денежных средств на выполнение работы.

3. Создание инновационного фонда оперативного финансирования, то есть работающего в режиме «онлайн».

4. Изменение условий финансирования предприятий (разработчиков) из инновационных фондов республиканского и областного подчинения. Нынешняя ситуация здесь явно не в интересах государства.

5. Привлечение Госконтроля к «карательным» действиям против ученых только в исключительных, то есть в явно уголовных случаях.

6. Увеличение закупок нового оборудования и приборов для проведения исследований.

7. Обеспечение эффективного кредитования всех организаций, имеющих отношение к машиностроению.

8. Полное снятие всех видов налогов с организаций, создающих новую машиностроительную продукцию.

МАТЕРИАЛЬНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ РАЗРАБОТЧИКОВ НОВЫХ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

1. Уменьшение налоговой нагрузки на организации и предприятия, активно проводящие модернизацию своих производств.

2. Реальное использование патентного Закона и других авторских прав в интересах конкретных разработчиков.

3. Повышение заработной платы ученых не менее чем в два раза.

4. Упрощение процедуры создания временных научных коллективов (ВНК).

5. Выплата соответствующих надбавок заводским (работающим на предприятиях и в организациях) специалистам с учеными степенями.

6. Первоочередное решение жилищных проблем ведущих научных работников и специалистов.

7. Назначение специальных льгот государственного характера ученым и специалистам с высокими достигнутыми результатами.

ПОДГОТОВКА И РАССТАНОВКА РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ В УПРАВЛЕНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

1. Большое число первых лиц предприятий и организаций по своему основному образованию не соответствуют профилю занимаемых должностей.

2. Очень низкий процент привлечения научных работников высшей квалификации в руководящий состав промышленных предприятий.

3. Организация целевой аспирантуры и докторантуры по подготовке научных работников для промышленной сферы.

4. Устранение протекционизма в вопросах директивного назначения и увольнения руководящих работников.

5. Критическая оценка уровня руководящих кадров преимущественно низкоэффективных предприятий и организаций с целью замены их перспективными руководителями.

6. Привлечение в качестве консультантов на крупные промышленные предприятия ведущих специалистов из числа отечественных и зарубежных ученых.

7. Устранение волонтаризма среди ряда руководителей предприятий и организаций и создание комфортного и творческого морального климата в трудовых коллективах.

Основываясь на высказанных положениях в качестве первого шага реализации мобилизационной модели развития машиностроения Беларуси в проект программы социально-экономического развития Беларуси на 2021-2025 годы представлен проект «Создание Национального Парка промышленных технологий и машиностроения», который реально может быть осуществлен на базе Белорусско-Российского университета, Могилевского завода «Строммашина», базового НИИ (нужно создавать), института технологии металлов НАН Беларуси и незадействованных производственных площадей ОАО «Химволокно». Преимуществом проекта следует считать его

расположение в одном городе и наличие необходимого кадрового потенциала.

Библиографический список:

1. Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л. Технологическое машиностроение –инновационный резерв мировой экономики: [монография]. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2017 – 254 с.

2. Шимов В.Н., Крюков Л.М. Инновационное развитие экономики Беларуси: движущие силы и национальные приоритеты: [монография] – Минск: БГЭУ, 2014 – 199 с.

3. Сиваченко. Л.А. Энерготехнологическая концепция национальной безопасности // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – №2. – С. 78-88.

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОТКОВЫХ ИЗМЕЛИТЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМОМ ДВИЖЕНИЕМ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ МУКИ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.

Курочкин Н.В., ст. преп.

*Межгосударственное образовательное
учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет»*

Измельчение для многих отраслей промышленности, особенно для производства строительных материалов, имеет чрезвычайно важное значение. Это самая массовая и самая несовершенная из всех используемых в настоящее время технических операций. Измельчение осуществляется в специальных машинах – дробилках и мельницах, которые в зависимости от физико-механических свойств перерабатываемых материалов создают в них различные виды нагружений, которые в итоге определяют конструктивное многообразие средств дезинтеграции [1].

Особую группу измельчительных установок образуют молотковые дробилки и мельницы, производящие разрушение материала преимущественно путем свободного удара шарнирно подвешенными на роторе ударными элементами – молотами, ножами, билами, фрезами и т.д.

Наметилась устойчивая тенденция расширения области их технического использования за счет совмещения в одном рабочем пространстве дополнительных операций: смешивания, сушки, механоактивации, классификации, а также расширения функциональных возможностей рабочего оборудования: увеличение степени измельчения и замена ряда мельниц, работа на материалах повышенной влажности, способность перерабатывать неоднородные и сложные по составу и свойствам продукты, реализация сегментивных механизмов разрушения.

В конструктивном плане значительная часть молотковых измельчителей претерпевает трансформацию в направлении установки ротора вертикально или под углом к горизонту с целью увеличения времени нахождения материала в рабочей камере и, соответственно, количества единичных актов воздействия на отдельные куски или объемы материала. Это во многом продиктовано новыми технологическими задачами и требованиями в цементной, керамической, горнорудной, металлургической и других отраслях промышленности. При

этом следует заметить, что двухроторные аппараты ударного действия находят незначительное применение.

Основным недостатком, по нашему мнению, этого направления развития молотковых измельчителей является низкая эффективность каждого последующего ударного воздействия на исходные частицы материала, т.к. ударные импульсы придают им движение в направлении близком к направлению движения ударных элементов, т.е. материал движется в центробежном поле, создаваемом роторной системой, в этом случае линейная скорость ударов бил по частицам материала значительно ниже линейной скорости периферии вращающихся ударных элементов и, соответственно, в разы снижается эффективность рабочего процесса.

Достаточно значительно на работу молотковых агрегатов влияет вентиляторный эффект, создаваемый вращающимся ротором и приводящий к сдуву с рабочей поверхности ударных элементов частиц материала, что приводит к снижению эффективности последующих ударов рабочих органов на обрабатываемый материал.

С целью дальнейшего совершенствования молотковых дробилок предлагается следующее конструктивное решение [2]. (рисунок1).

Особенностью предлагаемой конструкции является установка рабочей камеры под углом к горизонту, а также подача обрабатываемого материала к нижней части рабочей камеры.

Работает дробилка следующим образом, материал, подаваемый в загрузочный бункер, отбрасывается вверх отбойным диском, установленным на основании ротора, и подвергается разрушению билами, установленными в верхней части ротора. При достижении необходимой фракции частицы материала удаляются при помощи циклона, более крупные части материала под действием силы тяжести опускаются вниз, где отбойным диском снова возвращаются в рабочую часть камеры дробления. В случае необходимости дополнительного снижения влажности обрабатываемого материала, в корпус дробилки возможно установить патрубки для подачи в рабочую камеру теплового газового агента и вывода конденсированного пара и влаги.

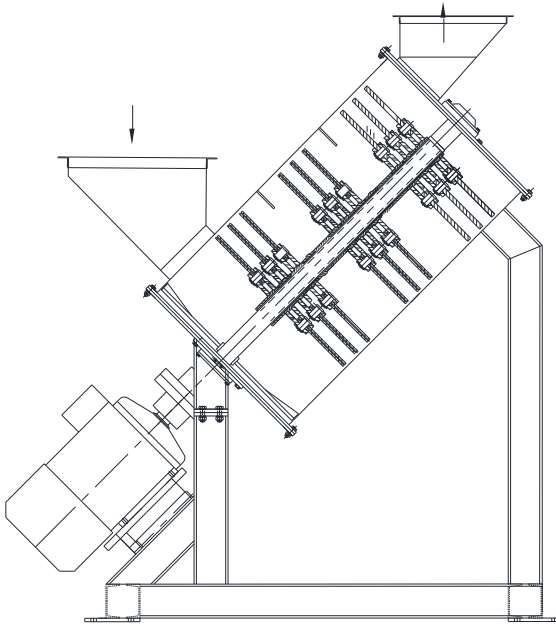


Рисунок 1. Молотковая дробилка с нижней загрузкой обрабатываемого материала.

Предлагаемую конструкцию возможно применить в технологической линии по производству сырьевой муки. (рисунок 2). Исходное сырье влажностью 25...30% подвергается воздействию теплового газового агента, далее поступает в мельницу «Аэрофол» для предварительного измельчения. При уменьшении частиц мела возрастает удельная площадь поверхности кусков, что повышает склонность мела к смачиванию. Эта особенность вызывает необходимость преждевременного удаления мелких фракций материала из зоны дробления. Решение этой задачи может реализовать молотковая дробилка с нижней загрузкой обрабатываемого материала. Материал подвергшийся обработке молотковой дробилкой циклоном подается на классификатор, мелкая фракция отбирается как готовый продукт, крупная часть отправляется на повторное измельчение.

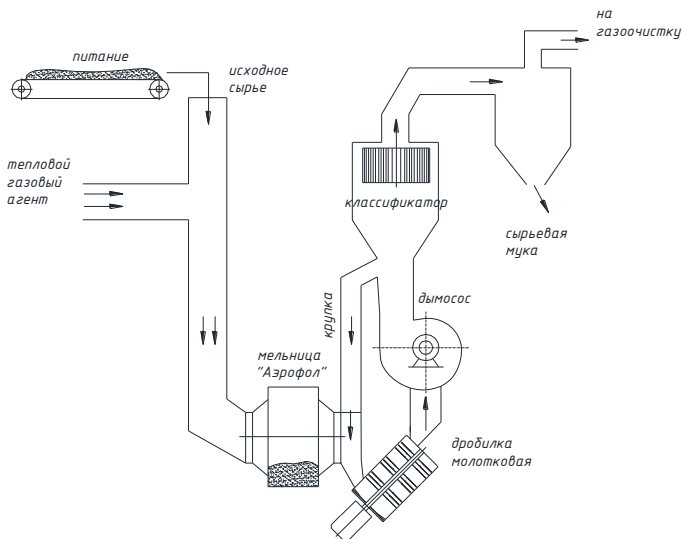


Рисунок 2. Технологическая линия производства сырьевой муки

Включение дробилки в технологическую линию позволит повысить качество измельчения, при этом за счет снижения кратности циркуляции материала в мельнице «Аэрофол» предполагаемая производительность комплекса возрастет на 20-25%, что приведет к значительному снижению удельных энергозатрат на единицу продукции.

Библиографический список

1. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]. – Минск: Издательский центр БГУ, 2008. – 324 с.
2. Сиваченко Л.А., Курочкин Н.В. Молотковые дробилки с наклонным корпусом и основы организации их рабочего процесса // Вибрационные технологии, механика и управляемые машины: Сб. науч. ст.- Курск: ЮЗГУ, 2014.- том 1, с. 113-119.
3. Сиваченко Л.А., Багитова С.Ж., Курочкин Н.В. Новое эффективное технологическое оборудование для переработки дисперсных сред – основа модернизации базовых отраслей промышленности // Инженерное оборудование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы: Матер. междунар. форума.- Алма-Ата: КазНТУ, 2014.- том 2, с. 604-613.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОСАДКИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ФУНДАМЕНТА ВЫЗВАННОЙ ПОДТОПЛЕНИЕМ ОСНОВАНИЯ

Утенов Е.С., д-р техн. наук, проф.,

Мухамеджанова А.Т., докторант,

Аубакирова Б.Б., докторант

*Карагандинский технический университет, Караганды,
Казахстан*

Абдукаликова Г.М., ст.преподаватель

*Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Нур-Султан,
Казахстан*

Подтопление застроенных городских территорий грунтовыми водами рассматривается как неблагоприятное последствие нарушения ранее существовавшего естественного водного режима в результате проявления техногенеза.

На режим грунтовых вод существенно влияет степень естественной дренированности территории, которая, как правило, при строительстве в результате вертикальной планировки участков значительно сокращается, что ухудшает условия поверхностного и подземного стока, увеличивая инфильтрации влаги, вызывая подъем зеркала подземного потока.

Таким образом, при застройке территорий и их эксплуатации увеличиваются приходные статьи водного баланса вследствие накопления влаги в насыщенной зоне (зона аэрации) и в зоне полного насыщения (грунтовые воды). Это приводит к интенсивному подъему уровня грунтовых вод, то есть к подтоплению территорий.

Подтопляемыми территориями являются такие застроенные или застраиваемые участки, где приходные статьи водного баланса преобладают над расходными. Для таких территорий характерно постоянное и направленное изменение водного режима, приводящее к нарушению эксплуатационных условий не только отдельных зданий и сооружений, но и целых городов и промышленных предприятий, вследствие ряда неблагоприятных последствий процесса подтопления (аварии, деформации, преждевременный физический износ, коррозия заглубленных конструкций; ухудшение экологической обстановки территорий и санитарно-гигиенического состояния помещений подвальных и нижних этажей и др.).

Процесс подтопления территорий начинается с постепенного накопления влаги в зоне аэрации и увеличения влажности грунтов

застроенной территории, в том числе под существующими зданиями и сооружениями. Дальнейшая концентрация подземной влаги способствует образованию куполовидных поднятий зеркала грунтовых вод под соответствующими источниками инфильтрации, то есть сначала происходит локальное подтопление, которое в последующем, по мере смыкания отдельных куполов, переходит к общему повышению уровня грунтовых вод и подтоплению территории.

В процессе строительства вследствие производства земляных работ происходит нарушение природной структуры грунтов и образование в зоне аэрации разрыхленного искусственного слоя, способствующего накоплению в ней поверхностных вод. Такие воды могут оказаться источником увлажнения грунтов, используемых для обратных засыпок и планировочных подсыпок, а также оснований существующих зданий и сооружений. Кроме того, на городских территориях, где, в отличие от промышленных территорий, утечки различных производственных вод и растворов практически исключены, также одним из основных источников обводнения грунтов оснований зданий может являться конденсация влаги в грунтах, используемых для обратных засыпок пазух фундаментов и планировочных подсыпок.

Таким образом, при существующих способах устройства подземных частей зданий скопление вод в грунтах обратных засыпок пазух фундаментов допускается, несмотря на его негативные последствия.

Для определения осадок подтопляемых оснований вновь возводимых и существующих зданий необходимо располагать фактическими размерами локальных участков водонасыщенного грунта в пределах активной области основания проектируемого фундамента. Однако методы действующих норм, базирующиеся на теории линейно-деформируемых тел, объектом изучения которой согласно ее основным предпосылкам является условный, идеализированный грунт основания.

Как известно, подтопление территории строительства подземными водами ведет к водонасыщению грунтов оснований, повышению их сжимаемости в связи с разупрочнением, трансформации напряженного состояния в грунтовой толще и, как правило, к увеличению размеров активной зоны основания фундаментов зданий и сооружений.

В ходе развития процесса подтопления поднимающийся уровень грунтовых вод в каждый момент времени разделяет сжимаемую зону основания на два слоя (водонасыщенный и с естественной влажностью) с различными показателями сжимаемости. В таком случае при проектировании фундаментов зданий возникает необходимость в

определении фактических размеров неодинаково уплотненных зон основания, в пределах которых произошли изменения физико-механических свойств грунтов в связи с их обводнением. Однако используемые в практике известные методы, основанные на теории линейно деформируемой среды, не позволяют прогнозировать действительные размеры указанных зон, так как предназначены для расчета условного, идеализированного грунта. Поэтому эти методы не приемлемы для расчета осадок фундаментов зданий, проектируемых в условиях подтопляемых территорий, в частности, при наличии в их основании локальных ослабленных зон, обусловленных обводнением. Поскольку фактические размеры ослабленных локальных зон реального грунтового основания неправомерно переносить непосредственно на идеализированное основание, рассматриваемое традиционными методами, то возникает необходимость нового подхода к разработке методики расчета осадок фундаментов.

При рассмотрении вопроса расчета осадок фундаментов с учетом фактора подтопляемости грунтов оснований следует выделить два характерных случая, требующих различных подходов к решению задач:

Случай 1. Подтопления грунтов основания происходят до возведения фундамента.

Случай 2. Обводнение грунтов оснований фундаментов существующих зданий происходит в эксплуатационный период.

В первом случае фундамент возводится на частично обводненном основании (рисунок 1). Расчет осадки фундамента сводится к установлению допустимой величины поднятия уровня грунтовых вод (hГВ, пред), при которой выполняется условие:

$$S=(S_{\text{сст}}+S_{\text{вод}})\leq S_{\text{пред}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{сст}}$ – осадка части активной зоны основания, расположенной выше уровня грунтовых вод и состоящей из грунтов естественной структуры и влажности;

$S_{\text{вод}}$ – осадка ослабленной части активной зоны основания, расположенной ниже уровня грунтовых вод и включающей водонасыщенные грунты естественной структуры;

$S_{\text{пред}}$ – предельно допустимая величина осадки фундамента, регламентированная строительными нормами [1].

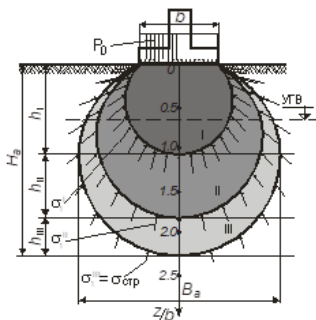


Рисунок 1. Расчетная схема для определения осадки фундамента

Проведенные экспериментальные данные позволяют заключить следующее:

- влажность грунтов под подвалом на участках, покрытых бетонным полом больше, а земляным полом - меньше. Значительное увеличение влажности наблюдается преимущественно в грунтах у наружных ленточных фундаментов;

- характер распределения влажности грунтов вблизи здания зависит от наличия покрытия и экспозиции. С северной стороны здания грунты подвержены увлажнению значительно больше, чем с южной стороны;

- вследствие скрытого подтопления, влажность грунтов, находящихся под различными покрытиями, по сравнению с влажностью грунта открытого застроенного участка может увеличиться:

- под фундаментами на 6...8,9%;
- под отмостками на 5,9...7,2%;
- под дорожными покрытиями на 3,9...4,5%.

По нашим данным, такой прирост влажности связных грунтов в зависимости от величины исходной природной влажности может стать причиной существенного ухудшения их строительных свойств, в частности, снижения удельного сцепления в 1,6 и более раза; угла внутреннего трения в 1,7 и более раза; модуля общих деформаций в 2,0 и более раза.

Таким образом, негативные последствия неявного и явного подтопления застроенных территорий могут быть соизмеримы. Поэтому при проектировании зданий и сооружений в условиях глубокого залегания грунтовых вод следует учесть неизбежность повышения

влажности грунтов оснований и неодинаковую степень ее накопления под различными частями фундаментов.

Строительство, эксплуатация зданий и сооружений вследствие техногенеза вызывают неизбежные и необратимые изменения прежней природной обстановки территории. В результате обводнения и длительного обжатия механические свойства грунтов застроенных территорий претерпевают существенные постгенетические изменения. Водонасыщение связных грунтов может привести к значительному их ослаблению, а именно, к уменьшению величины удельного сцепления и модуля общих деформаций в 1,6...3,0 и более раза. Длительное обжатие грунтов техногенными нагрузками обуславливает существенное их упрочнение, вследствие которого модуль общих деформаций может увеличиваться у песчаных грунтов в 2,2.... 4,2 раза, а у глинистых грунтов в 4,5 и более раза; удельное сцепление может возрастать у песчаных грунтов в 2,2 раза, а у глинистых грунтов в 4,1 раза.

При геотехническом проектировании расчет грунтовых оснований по деформациям выполняется с целью недопущения чрезмерных перемещений фундаментов, приводящих к нарушению нормальной эксплуатации или снижению долговечности зданий и сооружений. Все существующие методы определения осадок фундаментов, регламентированные отечественными и зарубежными нормами, используют в качестве деформационной характеристики грунта основания – модуль общей деформации [2].

На городских территориях, не защищенных от обводнения дренажными системами, негативные последствия для строительства явного и скрытого (неявного) видов подтопления иногда могут быть соизмеримы. Вследствие скрытого подтопления влажность грунтов под фундаментами может иметь прирост 6...8,9%, который может привести к снижению прочности и увеличению сжимаемости грунта в 2 и более раза. Процесс подтопления не только ослабляет грунты оснований фундаментов зданий, но и ухудшает экологическую обстановку города, санитарно-гигиеническое состояние квартир нижних этажей, обуславливая усиление различных заболеваний населения.

Одним из основных причин искусственного подтопления городских территорий является проявление «барражного эффекта» в результате подпора грунтовых вод подземными водонепроницаемыми частями зданий. Возникновение «барражного эффекта» можно объяснить как следствие несовершенства традиционных методов проектирования оснований и фундаментов зданий. Используемые в строительстве

полнотелые фундаменты и способы гидроизоляции не приспособлены к негативным последствиям техногенных воздействий и по этой причине они не гарантируют устойчивости существующих зданий при обводнении слабопроницаемых грунтов основания в неблагоприятных условиях его дренирования, не обеспечивает защиты подземной части здания от скрытого типа увлажнения и подтопления аварийного (локального, случайного) характера.

Наряду с фактором подтопляемости к числу главных техногенных факторов, представляющих проблему при проектировании оснований и фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки можно отнести неравномерную уплотненность грунтов застроенных территорий как следствие их послепостроечного обжатия, а также взаимное влияние близко возводимых фундаментов, вызванное локальным изменением напряженного состояния и сжимаемости грунтов их оснований.

Действующие строительные нормы недостаточно полно учитывают потенциальную опасность последствий подтопления застроенных территорий. Поскольку в них рассматривается лишь влияние явного подтопления, последствия его скрытого вида и локального (аварийного) обводнения грунтов оснований фундаментов эксплуатируемых зданий практически игнорируются.

Традиционные методы расчета, регламентированные строительными нормами не приемлемы для определения осадок фундаментов зданий, проектируемых на застроенных территориях с учетом подтопления основания, а также перекрывающихся напряженных зон, обусловленных техногенными факторами (длительное обжатие, подтопление грунтов, влияние надстройки и пристройки зданий). Поскольку фактические размеры указанных локальных зон реального грунтового основания нельзя непосредственно перенести на иделизированное основание, рассматриваемое существующими методами.

Поэтому до сих пор из-за несовершенства действующих стандартов и строительных норм проектирование оснований и фундаментов зданий на застроенных территориях осуществляется без должного мониторинга и учета последствий техногенных воздействий. По этой причине во многих городах страны имеется немало примеров преждевременного разрушения конструкций зданий, эксплуатируемых не более 20 лет, при нормативном сроке службе 100 лет. Произошедшие в последние годы в Казахстане и ряде стран СНГ случаи аварий и обрушений жилых домов, повлекшие за собой гибель людей, вследствие экстремальных техногенных воздействий требуют пересмотра традиционных методов

проектирования и принятия принципиально новых конструктивных и технологических решений по повышению надежности и безопасности жилья.

Таким образом, для расчета осадок оснований проектируемых фундаментов с учетом фактора подтопляемости глинистых грунтов необходимо учитывать, что обводнение грунтов основания происходит до возведения фундаментов и в период эксплуатации зданий.

Подтопления территорий, когда обводнению подвергаются ранее уплотненные глинистые грунты под существующими зданиями, возникает необходимость в определении дополнительных осадок эксплуатируемых фундаментов, вызванных набуханием глинистых грунтов в процессе подъема грунтовых вод. При этом расчет дополнительных осадок подтопленного основания эксплуатируемых зданий следует осуществлять путем использования результатов специальных компрессионных испытаний, проводимых на образцах грунта, предварительно уплотненных под заданными нагрузками, с последующим замачиванием под этими же нагрузками. При этом в расчет непосредственно вводят определяемые по компрессионной кривой величины снижения коэффициента пористости грунта, соответствующие выделенным напряженным зонам основания.

Библиографический список:

1 Утенов, Е.С.. Расчет оснований зданий в условиях застроенных городских территорий, Караганда 2004.

2. Utenov Y.S., S.K. Abildin S.K, A.T. Mukhamedzhanova A.T. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design // Proceedings of the International on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations (GFAC 2019), Saint Petersburg, Russia, 6-8 February, 2019. Pp. 451-457.

ОБЗОР ФИРМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ФУТЕРОВОЧНЫХ ПЛИТ ДЛЯ МЕЛЬНИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Фадин Ю.М., канд. техн. наук, доц.,

Анискович Д.А., магистрант,

Гавшин А.П., магистрант,

Кравченко В.М., магистрант,

Лазько Е.В., студент.,

Кучерова Ю.О., студент.

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

Мельничные футеровки являются важной частью процесса измельчения, оказывая значительное влияние на показатели производительности.

Футеровка барабана мельницы имеет огромное влияние на эффективность процесса измельчения. Именно футеровка передаёт энергию вращения мельницы в движение рабочей среды, поэтому для каждой отдельной мельницы необходимо тщательно выбрать профиль и размер элементов футеровки. В процессе проектирования учитывается тип технологического процесса, размер и скорость мельницы, график технического обслуживания, аспекты безопасности, уровни ударных нагрузок, эффективность применяемых материалов и многие другие параметры. Для расчета движения измельчаемой среды, потребляемой мощности и ударного воздействия мелющих тел на футеровку применяется высокоточное моделирование процесса измельчения, обеспечивающее целостность получаемых данных [1].

Рассмотрим фирмы-производители данных изделий:

– Metso - Финляндия

– Magotteaux - Чили

– Polycorp - Канада

Крупная финская компания «**Metso**», имеет 50-летний опыт в разработке мельничных футеровок. Компания предоставляет обширный ассортимент футеровок:

– Резиновые мельничные футеровки

– Полиметаллические футеровки Poly-Met

– Металлические мельничные футеровки

– Мельничные футеровки Orebed

– Футеровка Megaliner

Рассмотрим полиметаллические футеровки Poly-Met. Концепция полиметаллических плит максимально выгодно сочетает наиболее

востребованные свойства резины и стали. Эта комбинация позволяет применять более прочные и износостойкие сплавы чугуна и стали, чем те, которые могут использоваться в обычной металлической футеровке, поскольку резина значительно смягчает ударные воздействия. Для обеспечения оптимального измельчения и рабочих показателей полиметаллических футеровок, сочетающих в себе два вида материалов, необходимо всестороннее знание свойств материалов и особенностей технологии.

Плиты данного типа изготавливают в четырех видах (рисунок 1). Футеровка с одинаковой высотой способствует сокращению простоев благодаря редкому выводу оборудования на техническое обслуживание и проверку степени износа. Большой промежуток между лифтерами сокращает время замены за счет меньшего количества элементов футеровки и уменьшения риска забивания. Система “High/low” Преимуществом является экономия затрат, так как конфигурация профиля сохраняется постоянно. Низкий профиль Превосходное решение для мелкого и абразивного питания [2].

Как заявляет производитель это позволяет обеспечить стабильный результат, снизить эксплуатационные затраты и уменьшить расходы на техническое обслуживание.



Рисунок 1. Футеровка фирмы Metso

Компания «**Magotteaux**» является единственным поставщиком по всему миру, способным консультировать и поставлять наиболее подходящий тип футеровок от высокохромных до литых и кованных низкохромовых и керамических. Фирмой разработаны следующие технологии:

- Sensomag®, позволят в режиме реального времени получать ценную информацию о том, что происходит внутри вашей мельницы.
- Magoload® обеспечивает непрерывное и автоматизированное

пополнение мелющих тел для компенсации износа шариков в трубных мельницах.

- Chemillurgy® предназначена для оптимизации процессов измельчения и последующего разделения, используя правильную комбинацию технологий. [3]



Рисунок 2. Металлическая мельничная футеровка

Футеровки «**Polycorp**» выполнены из плотной износостойкой резины, проверенной десятилетиями и гарантирующей способность выдерживать высокую нагрузку работы мельницы. Компания предлагает футеровки разного профиля и размера для обеспечения высокой производительности в различных условиях измельчения. [4] Выделяют следующие преимущества:

- Футеровки очень экономичны
- Высококласная натуральная резиновая смесь обеспечивает отличную стойкость к ударному воздействию и истиранию
- Долгий срок службы снижает интервалы обслуживания и затраты
- Резиновые футеровки снижают шум работы мельницы
- Резиновые футеровки имеют прогнозируемую скорость износа



Рисунок 3. Футеровка для крупногабаритных мельниц

Библиографический список:

1. Богданов В.С. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий – учебник / В.С.Богданов, Р.Р.Шарапов, Ю.М.Фадин. – Старый Оскол: ТНТ, 2013.
2. Metso [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.metso.com/ru/>. (дата обращения: 5.12.2020).
3. Solutions & efficiency for abrasive and impact applications [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.magotteaux.com/>. (дата обращения: 5.12.2020).
4. Manufacturers of Engineered Polymer Products [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.poly-corp.com>. (дата обращения: 5.12.2020).

МЕЖКАМЕРНАЯ ПЕРЕГОРОДКА ТРУБНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,

Павлова М.А., магистрант,

Лазыко Е.В., студент,

Яроцкая М.Ю., студент,

Григоренко А.А., студент

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

Межкамерная перегородка — до недавнего времени служила для разделения мелющих тел. Учитывая, что в начале в мельнице находится крупный материал, поэтому измельчать его нужно ударными действиями, что обеспечивается большими размерами мелющих тел. В конце мельнице, напротив, надо увеличить истирающее воздействие и поэтому требуются более мелкие мелющие тела, которые имеют большую удельную поверхность. Со временем стали использовать сортирующие бронеплиты и поэтому современные мельницы делятся только на две камеры. В настоящее время межкамерные перегородки служат интенсификаторами помола [5].

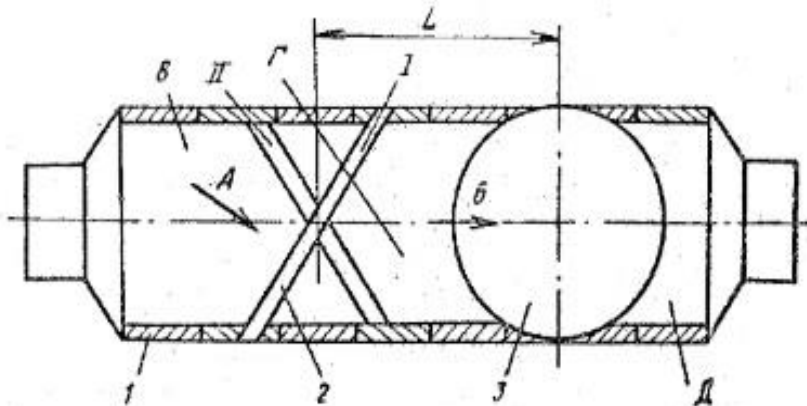


Рисунок 1. Схема трубной мельницы

Целью предлагаемого решения является повышения тонкости помола трубной мельницы. Указанная цель достигается тем, что наклонные межкамерные перегородки смещены по осям на 90° , отверстия на первой перегородке по ходу движения материала выполнены по всей поверхности, кроме зоны контакта мелющих тел с

перегородкой со стороны последующей камеры, а на поверхности следующей перегородки,

На рисунке 1 показана схема трубной мельницы с наклонными кроме зоны контакта с мелющими телами, находящимися в предыдущей по ходу измельчения камере межкамерными перегородками, смещенными по малым осям на 90° ; на рисунке 2 – первая межкамерная перегородка (вид с предыдущей камеры), вид А на рисунке 1; на рисунке 3 – вторая межкамерная перегородка (вид с предыдущей камеры), вид Б на рисунке 1. Широкое внедрение в производство для анализа зернового состава цемента новых типов гранулометров (лазерных, ультразвуковых, аэродинамических и т.д.) позволяет более полно оценить дисперсные характеристики получаемых порошков.

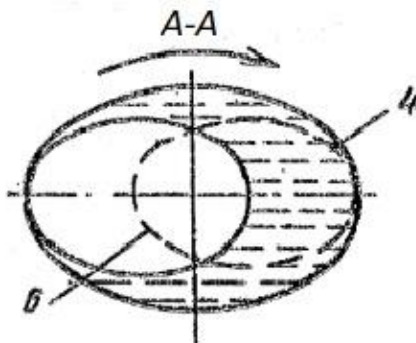


Рисунок 2. Первая межкамерная перегородка

Корпус 1 мельницы разделен межкамерными перегородками 2,3 на камеру В грубого помола, камеру Г тонкого помола и камеру Д сверхтонкого помола. Перегородки 2,3 набирают из стержней, между которыми имеются щели 4. Щели на поверхности перегородки ограничены линией 5. Площадь перегородки, отсеченная линией 5, ограничивает зону ее контакта с загрузкой со стороны последующей камеры. Площадь перегородки, отсеченная линией 6, ограничивает зону ее контакта с последующей камерой. В этой зоне отверстий в перегородке нет.

В процессе вращения корпуса 1 мельницы ее межкамерная перегородка 2 последовательно занимает положения от I до II и снова возвращается в положение I. При этом загрузка на перегородке оставляет след, ограниченный линией 5 (вид А, положение I) со стороны

камеры В, и линией б со стороны камеры Г.

При движении перегородки от положений I к положению II мелющие тела и материал в камере В захватываются перегородкой и, проскальзывая относительно ее поверхности, проходят через щели, расположенные в зоне перегородки, ограниченной линией 5. Мелкая фракция материала направляется в камеру Г.

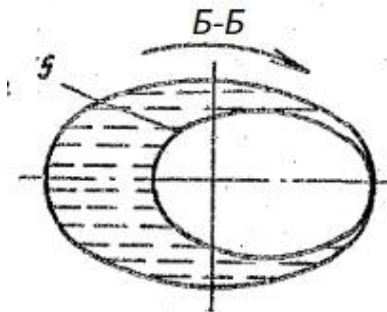


Рисунок 2. Вторая межкамерная перегородка

Перегорodka 3 при вращении вокруг своей оси, наоборот, препятствует продвижению материала из камеры Г в камеру Д, т.е. контакт материала с перегородкой 3 происходит по площади, ограниченной линией 6, т.е. площади не имеющей отверстий.

Для прохождения материала в камеру Д он должен подняться до уровня, обеспечивающего контакт с отверстиями перегородки 3. Часть прошедшего в камеру Д материала через отверстия перегородки 3 возвращается в камеру Г вследствие того, что материал в камере Д в отличие от материала в камере Г имеет контакт с перегородкой 3 по площади, ограниченной линией 5. Крупные частицы попадают в камеру Г для доизмельчения, а мелкие вследствие их большей подвижности идут дальше, выходя из зоны действия перегородки 3.

Таким образом, материал, попав в камеру Г из камеры В и Д для обеспечения необходимого уровня, накапливаясь, измельчается и в обычной трубной мельнице можно получить более высокую степень измельчения.

Использование изобретения особенно эффективно при помоле многокомпонентных материалов, например цемента, включающего

клинкер (40-60%) и шлак (40-60%), которые обладают существенно различной размолоспособностью.

Одним из направлений совершенствования трубных шаровых мельниц является использование наклонных перегородок для придания мелющей загрузке поперечно-продольного движения тел [1].

Библиографический список:

1. Богданов В.С., Богданов Д.В., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 436 с.
2. Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
3. Артамонов А.В., Гаркави М.С, Кушка В.Н. Гранулометрический состав портландцементов центробежно-ударного измельчения // Цемент и его применение. – 2007. – № 2. – С. 67–69.
4. Ахназарова С.А., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, Г 1985. – 327 с.
5. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
6. Фадин Ю.М. Расчет средневзвешенного диаметра мелющего шара трубной шаровой мельницы при водопадном режиме работы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 78-80.
7. Фадин Ю.М. Расчет энергии, передаваемой шароматериальной загрузкой наклонной перегородки трубной шаровой мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 62-64.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ

Фадин Ю.М., канд. тех. наук., доц., проф.,

Тибейкин В.В., магистрант,

Карачевцева А.В., студент

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г.Шухова

Для смешивания сыпучих материалов разработаны различные конструкции смесительного оборудования, такие как: барабанные, шнековые, лопастные, ленточные и др. Для получения однородной смеси применяют смесители периодического и непрерывного действия. Эффективность смешивания зависит от множества факторов, но главные из них это физические свойства компонентов (гранулометрический состав, форма и характер поверхности частиц, влажность, плотность) и параметры смесительного оборудования (продолжительность смешивания, скорость движения рабочих органов смесителя и других показателей) [2].

Качество смешивания зависит от:

- скорости движения массы;
- размера камеры смешивания;
- длиной и формой инструмента, применяемого при смешивании;
- характеристиками смешиваемых компонентов.

В настоящее время оценки качества перемешиваемой смеси базируются преимущественно на методах математико-статистического анализа.

Применение математического аппарата случайных марковских процессов при моделировании процессов смешивания, впервые было научно обосновано Макаровым Ю.И. в 1973 г [4]. С тех пор в различных сферах производства широко применяется этот подход. Информатизация технологических процессов позволяет легко реализовать данные алгоритмы на ЭВМ, это существенно упрощает работу исследователей по установлению оптимальных режимных и геометрических параметров смесительного оборудования.

Установить, насколько равномерно распределены компоненты в смеси с более чем двумя компонентами, не представляется возможным. Поэтому, чтобы оценить качество смешивания одной случайной величиной, смесь условно считают двухкомпонентной. Для этого

выделяют из смеси один какой-то компонент - ключевой, а все остальные объединяют во второй условный компонент. В качестве ключевого компонента выбирают такой материал, который легко анализируется, или его распределение в смеси особенно важно по технологическим требованиям. Опытным путем выявлено, что если какой-то компонент распределен в смеси равномерно, то и другие распределены равномерно.

В основном эффективность смешивания оценивают таким показателем, как однородность полученной смеси, а для количественной оценки используют коэффициент неоднородности. Идеальная смесь двух компонентов, это такая смесь, в которой любая единичная частица симметрично окружена постоянным числом зерен обоих компонентов. Тем не менее такую модель невозможно реализовать в промышленных условиях, так как нарушается при любом последующем перемешивании. Практически однородной считается смесь, в которой содержание компонентов в любом ее объеме не отличается от заданного содержания для всей смеси. Увеличение степени однородности готовой продукции осуществляется за счет движения исходных материалов как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях внутри барабана [3].

Формула коэффициента неоднородности имеет вид:

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

где x_i – значение случайной величины x в i -ом опыте; $\bar{m}$ – среднее арифметическое содержание ключевого компонента во всех пробах; n – общее число проб [1].

По численной величине коэффициента V_c качество смеси разделяют на следующие группы: $V_c < 5\%$ – отличное, $V_c < 5\% - 10\%$ – хорошее, $V_c < 10\% - 20\%$ – удовлетворительное (табл. 1) [5].

Увеличение времени смешивания может привести как к повышению, так и понижению степени однородности смеси. Размер частиц компонентов смеси также имеет важное значение: продолжительное смешивание компонентов с крупными частицами приводит к их сегрегации и распределению на некоем стабильном уровне однородности через более длительный промежуток времени и при более высоком коэффициенте вариации, чем в случае использования веществ с мелкими частицами. Так же, необходимо учитывать такие факторы, как удельная плотность частиц, свойства основной смеси,

правильная эксплуатация смесителя. Опытным путем установлено, что загрузка смесителя больше нормы даже на 20% ведёт к потере качества смеси.

Таблица 1

Требования к однородности смеси

$V_c, \%$	Оценка смеси	Корректирующие действия
<10	Отличная	Нет
10-15	Хорошая	Увеличить время смешивания на 25-30%
15-20	Удовлетворительная	Увеличить время смешивания на 50%. Проверить состояние оборудования, исключить недогрузку и перегрузку. Сменить последовательность загрузки компонентов.
>20	Плохая	Возможна комбинация вышеперечисленных проблем. Выявить технические причины, произвести ремонт и настройку.

В качестве критерия оценки качества смеси может быть использован также коэффициент равномерности смешивания, определяемый по формуле:

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_0^n \frac{B_t}{B_0} \text{ при } B_t \leq B_0$$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_0^n \frac{2B_0 - B_t}{B_0} \text{ при } B_t > B_0 \quad 2)$$

где n — число проб; B_t — фактическое содержание контрольного компонента смеси в пробе; B_0 — заданное содержание контрольного компонента в пробе идеальной смеси, кг.

Чем ближе величина θ к 1, тем равномернее распределены компоненты в смеси. Существуют различные способы оценки качества смешивания материалов: весовой, рассеивом на ситах, оптический. Первый и второй способы позволяют определить коэффициент неоднородности смеси, компоненты которого различаются или по весу, или по размеру, при третьем способе определение концентраций ключевого компонента проводится на основе сравнительного анализа способности компонентов смеси поглощать, отражать и преломлять свет.

У данных способов существуют такие недостатки как трудоемкость и значительные затраты времени на проведение анализа качества.

В последнее время предложены новые способы оценки качества смеси. Так, А.И. Зайцев в работе с соавторами предлагает способ определения коэффициента неоднородности смеси трудноразделимых сыпучих материалов, который включает такие технологические операции, как: определение числа проб, определение минимально допустимого веса пробы, отбор проб смеси, нахождение концентрации ключевого компонента в пробе, вычисление коэффициента неоднородности смеси [6]. Новизна метода заключается в том, что при нахождении концентрации ключевого компонента содержимое пробы сначала распределяют равномерным слоем на гладкой поверхности, сканируют или фотографируют, проводят компьютерную обработку изображения, представляют его в виде массива чисел, каждый элемент которого выражен пикселем, значение которого соответствует цвету компонента. Все пиксели разбиваются на 2 диапазона значений, соответствующих ключевому компоненту и всем прочим компонентам. Затем происходит подсчет пикселей, соответствующих каждому компоненту, и определяют концентрацию ключевого компонента, по которой вычисляют коэффициент неоднородности смеси. У данного метода существуют недостатки, поскольку в случае близких по цвету компонентов наблюдается перекрытие диапазонов, т.е. пиксель может быть ошибочно отнесен к другому диапазону [7].

Этот недостаток был устранен авторами в более поздних разработках, включив в попиксельный анализ изображений смешиваемых компонентов получение гистограмм распределения пикселей изображения по оттенкам серого в отношении к их общему количеству, определение порогового оттенка, и нахождения координаты центров тяжести площадей гистограмм распределения пикселей компонентов смеси при вычислении значения порогового оттенка. Этому пороговому оттенку присваивается значение, соответствующее абсциссе середины отрезка между центрами тяжести площадей гистограмм. Авторы утверждают, что использование данного способа позволяет просто, достаточно точно и с минимальными затратами времени определить коэффициент неоднородности смеси трудноразделимых компонентов.

Оценку качества смешивания сыпучих материалов можно провести с помощью различных программных продуктов, так, например, в настоящее время Edem Solution является одной из ведущих программ,

использующих метод дискретного элемента для моделирования процессов связанных с движением сыпучих материалов [8].

Из рисунка 1 видно, что в начале смешивания материал подавался в корпус смесителя различными порциями, а в конце смешивания наблюдается равномерное распределение материала по всему объему смесителя, это говорит о том, что смесь однородна.

Таким образом современное программное обеспечение позволяет проводить визуальную оценку качества смешивания сыпучих материалов с минимальными затратами времени и ресурсов. Так же в данном программном обеспечении предусмотрен вывод различных графиков, отражающих особенности процесса смешивания, а также позволяющих дать характеристику взаимодействия материала между собой и с рабочими органами смесителя.

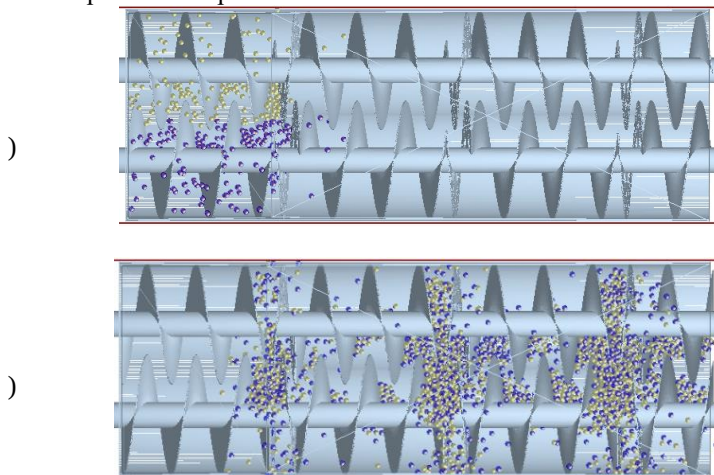


Рисунок 1 Распределение частиц материала в двухвальном смесителе
а) – распределение материала в начале процесса смешивания; б) -
распределение материала в конце процесса смешивания

Подводя итоги работы, отметим, что до сих пор остается весьма актуальной проблема оценки качества смешивания сыпучих материалов, что подтверждается большим количеством исследований на данную тему. Однородность смеси остается главным критерием качества смешивания. Постоянно совершенствуются способы оценки качества смешивания. Наблюдается отчетливый переход от простой визуальной оценки и механического подсчета частиц в пробах к оценке с

применением ЭВМ. Одним из эффективных решений является применение программных методов оценки качества смешивания сыпучих материалов. Данное решение является перспективным направлением повышения качества процесса смешивания и снижения неоднородности смесей, в данном направлении необходимо продолжение исследований.

Библиографический список

1. Анциферов С.И., Старчик Ю.Ю., Масловская А.Н., Аль-Ханани М.А. Методика нахождения скорости движения частиц и описание процесса смешивания двухкомпонентной смеси в планетарном смесителе. СДМ-Пресс (Москва), 2017г., 16-20 с.
2. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчёта машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Старый Оскол: ТНТ, 2013г., 679с.
3. Горшков П.С., Воронов В.П., Несмеянов Н.П. Методика расчета продольной скорости циркуляции сыпучего материала в спирально-лопастном смесителе. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012г., 88-90с.
4. Дурнев А.С., Першин В.Ф. Применение теории цепей Маркова к моделированию процесса смешивания в гладком барабане. Вестник ТГТУ, 2013. Том 19.
5. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Наука, 1973. – 215 с.
6. Патент №2371698 РФ. Способ определения коэффициента неоднородности смеси сыпучих материалов/ А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, А.Б. Капанова, А.А. Павлов, А.В. Сугак. - №2008101209/12 ; заяв. 09.01.2008; опуб. 27.10.2009, Бюл. №30. - 6 с.
7. Патент №2515009 РФ. Способ определения коэффициента неоднородной смеси трудноразличимых сыпучих материалов / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, А.Б. Капанова, А.И. Чадаев, А.А. Петров. - №2012155904/05 ; заяв. 21.12.2012; опуб. 10.05.2014, Бюл. №13. - 6 с.
8. DEM Solutions Ltd. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dem-solutions.com/>.

РАСКЛАДКА БРОНЕПЛИТ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ Ø5×15,75 М

Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,

Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,

Павлова М.А., магистрант,

Лазыко Е.В., студент,

Яроцкая М.Ю., студент

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

Цементная промышленность занимает ведущее место в потреблении энергетических ресурсов. Наряду с черной и цветной металлургией, топливперерабатывающей и химической промышленностями, производство строительных материалов и, в том числе, цемента, представляет одну из основных составляющих энергетического баланса промышленности. В энергопотреблении цементного производства ведущими технологическими процессами выступают процессы дробления, измельчения, обжига, смешения, реализуемые путем использования электрической энергии и энергии топлива.

С переходом к рыночным отношениям стало очевидным, что жизнеспособность предприятия зависит от его способности производить высококачественную продукцию с наименьшими затратами на ее выпуск за счет технического перевооружения производства [1].

Помол является важнейшим процессом при производстве цемента.

Помол цемента в условиях ПАО «Мордовцемент» производится высокопроизводительной шаровой трубной мельнице по замкнутому циклу с динамическим ротационным сепаратором.

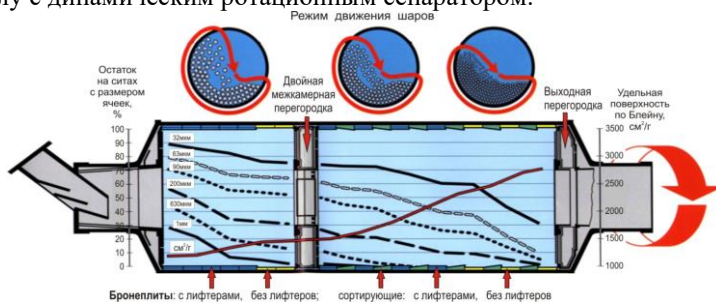


Рисунок 1. Влияние бронефутеровки на режим движения шаров и
интенсивность помола цемента

Осаждение готового продукта из воздушно-цементной системы

осуществляется двумя высокоэффективными циклонами, из которых пневмовинтовым насосом продукт транспортируется в силос цемента. Схема позволяет использовать для получения цемента 4 компонента, в частности клинкер, гипс и гидравлические добавки опоку и шлак. Для дозирования каждого компонента установлены отдельные металлические бункера следующей вместимости: для клинкера – 377 т/ч, гипса – 80 т/ч, опоки – 135 т/ч, для шлака – 108 т/ч. Под каждым бункером установлены ленточные весы. В отличие от весов для дозирования сырья в данной конструкции взвешивание материала производится не одним роликом, а несколькими, установленными на платформе. Точность измерения составляет $\pm 0,5\%$.

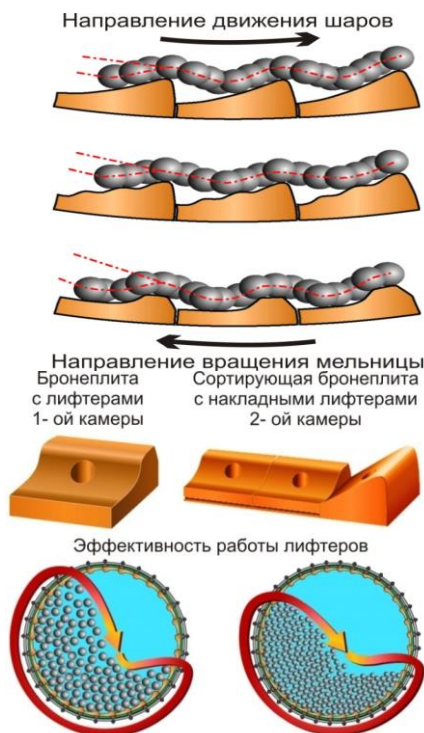


Рисунок 2. Влияние формы бронеплит на режим движения шаров

Для помола цемента на ПАО «Мордовцемент» используется шаровая трубная двухкамерная мельница, размером $\text{Ø}5 \times 15,75$ м,

производительность которой зависит от вида цемента. При помоле бездобавочного цемента марки 500 с удельной поверхностью по Блейну – 3500 см²/г производительность составит около 146 т/ч, при помоле портландцемента с 20% опоки марки 400 и удельной поверхности 3000 см²/г она достигает 200 т/ч, для шлакопортландцемента с 25% шлака марки 400 производительность будет 165 т/ч [2].

Известно, что эффективность работы шаровой мельницы в значительной степени зависит от внутримельничных устройств: формы бронеплит и конструкции межкамерной перегородки.

Бронеплиты мельниц – предназначены для предохранения корпуса мельницы от износа. Бронеплиты полностью покрывают внутреннюю часть барабана мельницы и выполняют функцию футеровки. Бронеплиты защищают обечайку от ударов мелющих тел. Броневая футеровка трубных мельниц предохраняет внутренние поверхности барабана мельницы от износа и играет существенную роль в механизме движения дробящей загрузки. Броневая футеровка выполняется из плит, которые изготовлены из марганцовистой или хромистой стали, отличающейся высокой твердостью. Барабан мельницы футеруется продольными, а днище - торцовыми броневыми плитами.

Применимость определенного ассортимента бронеплит (как по профилю, так и по материалу) вызывается поиском наиболее оптимальных вариантов с точки зрения стоимости, удобства монтажа и обслуживания, срока эксплуатации.

Предлагается в первой камере, где из-за крупного клинкера необходимы ударные действия шаров, устанавливать бронеплиты с лифтерами, которые увеличивают угол подъема шаров и, таким образом, обеспечивают водопадный режим [3].

На рисунке 2 показано совершенствование формы бронеплит, обеспечивающие наиболее высокую эффективность. Во второй камере применяются сортирующие (классифицирующие) бронеплиты с конусной частью, которые перемещают крупные шары к началу камеры, а мелкие – к концу. При этом для частичного увеличения угла подъема шаров в начале второй камеры на бронеплитах дополнительно устанавливаются полки-лифтеры.

Предлагаемая форма бронеплит и их раскладка, особенность функционирования мельниц с большими типоразмерами, позволит значительно увеличить срок службы бронefутеровки мельницы, что в свою очередь увеличит межремонтный период и снизит вероятность внеплановой ее замены.

Библиографический список

1. Богданов В.С., Богданов Д.В., Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 436 с.
2. 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: учебник. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 680 с.
3. Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
4. Артамонов А.В., Гаркави М.С, Кушка В.Н. Гранулометрический состав портландцементов центробежно-ударного измельчения // Цемент и его применение. – 2007. – № 2. – С. 67–69.
5. Ахназарова С.А., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, Г 1985. – 327 с.
6. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
7. Фадин Ю.М. Расчет средневзвешенного диаметра мелющего шара трубной шаровой мельницы при водопадном режиме работы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 78-80.

ВЫБОР ФУТЕРОВКИ ДЛЯ ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЕЙ

Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.,

Шеметова О.М., аспирант,

Шеметов Е.Г., аспирант,

Лазыко Е.В., студент,

Яроцкая М.Ю., студент

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

В процессе смешивания компонентов, рабочая камера подвергается износу. Предыдущее поколение футеровок смесителей выполнялось из металлических пластин и литья. Кроме футеровок из литья и металлических пластин, еще существуют керамические футеровки. Но использовались они выборочно, например, для стенок и днищ. Делалось это из-за окиси алюминия из которого изготавливались предыдущие футеровки. Керамика же обладает необходимой твердостью и износостойкостью к коррозии, а также стабильностью своей формы. Что позволяет достичь более высокого временного уровня замены футеровки, если сравнивать со сталью или литьем [1,2].

Во время применения керамической футеровки возможно получить твердость выше, чем твердость смешиваемых компонентов. В следствии чего работа обеспечивается при более низком уровне износа и истирание сводиться к минимуму [3].

Одним из примеров керамической футеровки, есть футеровка ALOTEC. Для использования в смесителях берется обычно ALOTEC-92 стандартного качества. Это один из наиболее износостойких материалов, предлагаемых на рынке в текущее время (рисунок 1).

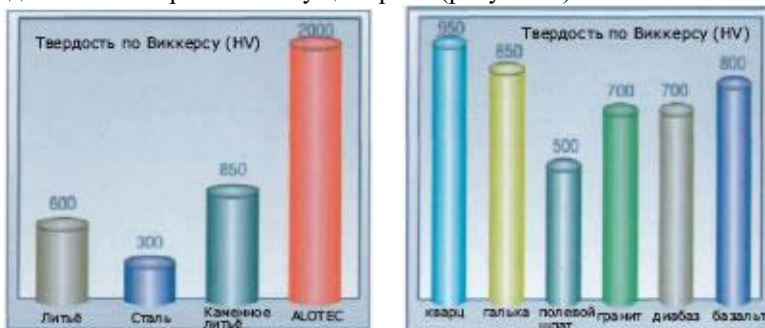


Рисунок 1 Анализ футеровки ALOTEC:

а) твердость футеровки для защиты от износа; б) Твердость наиболее важных сырьевых материалов

Используется данная футеровка в смесителях в виде небольших плиток. Прикрепляется футеровка прямо к поверхности смесителя (рисунок 2).

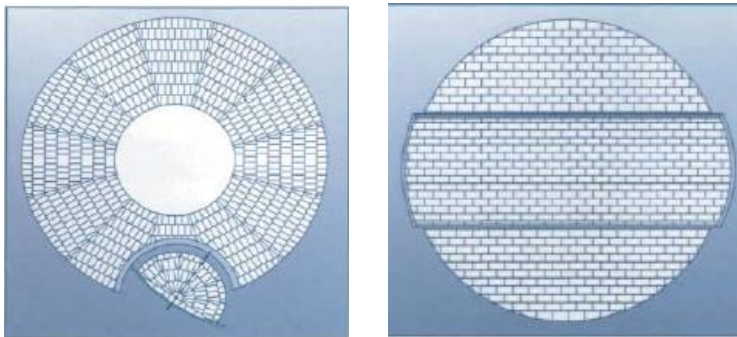


Рисунок 2 Керамическая футеровка ALOTES

Еще одним из вариантов крепления футеровки к рабочей поверхности может быть собранная в сегменты пластины и прикрученные к рабочей поверхности [5].

Кроме керамической футеровки, возможно еще использование полиуретановой или резиновой футеровки. Несмотря на то, что она менее популярна, она все равно обладает необходимыми качествами футеровки. Диапазон рабочих температур полиуретана от -60 до $+80$ °С, резина от -80 и до $+300$ °С. Полиуретан твердостью 30-98 по Шору А или 40-80 по Шору D, резина твердостью по Шору А 20-93 в точности повторяет необходимый профиль. Сопротивление полиуретана различным абразивам, способствует продолжительному сроку службы оборудования, и рабочих поверхностей. Устойчиво к истиранию [4].

Положительные качества использования полиуретановой футеровки заключается в том, что увеличивается срок службы и межремонтный период. Снижаются затраты, связанные с простоем и ремонтом. Полиуретановая футеровка имеет малый вес и не требует усиления несущих конструкций. Большим плюсом в пневмосмесителях используемых полиуретановую футеровку является снижение пылеобразование. Резина же лучше противостоит удару и менее изнашивается, если материал падает на него под прямым углом [4]. Крепят ее в большинстве случаев при помощи Т-образных болтов (рисунок 3).



Рисунок 3 Резиновая футеровка Sandvik

Сравнив керамическую, полиуретановую и резиновую футеровку для пневмосмесителей, можно сделать следующие выводы. Самыми популярными футеровками в данное время являются керамические, за счет высокого срок службы и снижения энергозатрат (до 30%), а также отсутствия загрязнения из-за износа железа. Следующими по значимости идут футеровки из полиуретана и резины, полиуретан имеет меньший вес, чем керамики, а резина лучше противостоит удару.

библиографический список:

1. Богданов, В.В. Эффективные малообъемные смесители/ В.В. Богданов, Е.И. Христофоров, Б.А. Клоунг. - Л.: Химия, 1989. -224 с.
2. Богданов, В.С. Механическое оборудование предприятий промышленности стройматериалов / В.С. Богданов, Н.П. Несмеянов, В.З. Пироцкий, А.И. Морозов - Белгород 1998. - 180с
3. Кореньков Г.Л. Основное технологическое оборудование химической промышленности США. М.: Изд-во Москва, 1970. 235 с.
4. Холодников, Ю. В Футеровка оборудования полимерными композитами [Текст]: Теория, исследования и практика химической защиты: [монография] – М.: АНО Изд. Дом «Науч. обозрение», 2019. – 285 с.
5. Гузман И.Я. Химическая технология керамики // М.: ООО РИФ "Стройматериалы" - 2003 - С. 150.

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ШАРОВЫХ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.,

Ханзаров А.С., аспирант

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

Одним из основных технологических процессов при производстве строительных материалов является измельчение. Для получения тонкомолотого материала в промышленности наиболее широкое распространение получили шаровые мельницы, отличительными особенностями которых являются высокая производительность, простота конструкции, высокая надёжность, возможность измельчения сырья с большой исходной крупностью кусков. Однако, также процесс измельчения в шаровых мельницах характеризуется высокой ресурсоёмкостью и низкой энергоэффективностью. Обычно в системах управления для определения энергетической эффективности процесса измельчения используют такие параметры, как степень заполнения помольной камеры материалом и мелющими телами, среднюю мощность, потребляемую приводным двигателем, создаваемый загрузкой шум. Но из-за недостатка сведений о внутреннем энергетическом балансе мельницы, сложности проведения прямых измерений состояния внутримельничной загрузки из-за особенностей условий работы сложно с достаточной точностью определить долю энергии, необходимой для разрушения частиц материала, и разработать детерминированную модель процесса его разрушения [1].

Для оптимизации управления процессом измельчения в современных системах автоматического управления, с целью уменьшения влияния таких технологических переменных, как изменение крупности и гранулометрического состава исходного материала, износ футеровки, мелющих тел, скорость вращения барабана, применяются математические модели.

Одной из задач при создании подобных математических моделей процессов измельчения материалов является выявление физических явлений, составляющих основу процесса разрушения частиц: динамики мелющей загрузки и распределение материала по крупности [2].

В некоторых случаях определить факторы, влияющие на процесс измельчения, позволяют экспериментально-статистические многофакторные модели, основанные на методах дисперсного и

регрессивного анализа. Например, экспериментально были получены зависимости отношения массы мелющей загрузки к массе клинкера в мельнице для обеспечения минимизации энергозатрат [1]. Однако данные модели обладают существенными недостатками: они лишены универсальности и пригодны только для использования на конкретном процессе, трудно реализовать требования воспроизводимости и равноточности экспериментальных данных во всем диапазоне изменения возмущающих параметров.

Современной разновидностью экспертно-статических моделей являются нейросетевые модели, способные адаптироваться к реальным процессам и обладающие более высокой точностью, чем уравнения регрессии [3]. Данные модели имеют один существенный недостаток – они не имеют формализованного выражения, а существуют в виде нейронной архитектуры с набором синаптических коэффициентов, что вызывает вопрос об оценке адекватности данных моделей и их соответствии технологическим требованиям.

Задача моделирования технологического процесса измельчения с прогнозированием гранулометрического состава измельченного материала по гранулометрическому составу питания, с учетом изменения физических свойств перерабатываемого материала, может быть решена с помощью кинетических моделей и, например, может быть представлена в виде модели идеального перемешивания. Выражение, определяющее материальный баланс i -го класса крупности, имеет вид дифференциального уравнения [4]:

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{f_i}{\tau} - s_i\omega_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij}s_j\omega_j - \frac{\omega_i}{\tau}, \quad (1)$$

где τ – время пребывания материала в мельнице; ω_i – массовая доля i -го класса крупности, находящегося в мельнице; f_i – массовая доля i -го класса крупности, поступающей на вход мельницы; b_{ij} – функция разрушения, определяющая переход материала j -го класса в i -ый класс крупности; s_i, s_j – функция отбора, определяющая скорость разрушения соответственно i -го и j -го класса крупности.

Уравнение материального баланса в установившемся режиме [2]:

$$\frac{f_i}{\tau} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij}s_j\omega_j = s_i\omega_i + \frac{\omega_i}{t}. \quad (2)$$

От массовых долей ω_i в уравнении (1) можно перейти непосредственно к массам m_i материала i -го класса крупности, находящегося в мельнице, исходя из того, что согласно закону сохранения массы $\sum m_i = \text{const}$ и соотношению $\omega_i = m_i / \sum m_i$:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{f_i}{\tau} - s_i m_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_j - \frac{m_i}{\tau}, \quad (3)$$

Предполагается, что в уравнениях (1) и (3) время пребывания частиц материала различной крупности одинаково. Однако в реальном процессе всегда имеется некоторый разброс по времени пребывания частиц в барабане мельницы. Данный разброс можно определить функцией перемешивания или применив представление потоков частиц через мельницу в виде каскадных смесителей (для адекватного расчета достаточно трёх – A, B, C):

$$\begin{cases} \frac{dm_{iA}}{dt} = \frac{f_{iA}}{\tau_A} - s_i m_{iA} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jA} - \frac{m_{iA}}{\tau_A}, \\ \frac{dm_{iB}}{dt} = \frac{f_{iB}}{\tau_B} - s_i m_{iB} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jB} - \frac{m_{iB}}{\tau_B}, \\ \frac{dm_{iC}}{dt} = \frac{f_i}{\tau} - s_i m_{iC} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jC} - \frac{m_{iC}}{\tau}, \end{cases} \quad (4)$$

где m_{iA}, m_{iB}, m_{iC} – масса i -ой фракции (класса) крупности, находящегося соответственно в смесителе A, B, C ; τ_A, τ_B, τ_C – время пребывания материала в соответствующем сегменте (соответственно 15%, 15%, 70% от общего времени пребывания в мельнице).

Для нахождения решения приведённой системы дифференциальных уравнений (4) используются численные методы. Функция разрушения b_{ij} и функции отбора s_i, s_j зависят как от физических свойств измельчаемого материала, так и от состояния шаровой загрузки. Функции отбора и разрушения измельчаемого материала можно получить исходя из статически средних значений процесса измельчения и неконтролируемых факторов (возмущений), что в определенных случаях может дать большую погрешность в вычислении. Практическая реализация как детерминированных (балансных), так и кинетических (динамических) моделей требует наличия достоверных количественных зависимостей, определение которых в реальных условиях существенно затруднено из-за сильного влияния возмущающих воздействий и нестационарности статических характеристик, обусловленных износом оборудования.

Прогнозирование функций отбора и разрушения можно осуществлять с помощью выборки значений параметров входного материала и нейронных сетей. Проверка работы подобной нейросетевой модели по статическим данным реального объекта показала, что разработанная модель адекватна [5]. Но из-за недостаточной развитости

средств контроля параметров процесса измельчения (например, степени заполнения мельницы или неконтролируемых возмущений) подобные системы после продолжительного времени могут работать в не обеспечивающих оптимальности процесса измельчения режимах.

Для увеличения точности управления необходимо дополнительно определять показатели энергетических параметров процесса измельчения. Для установления величины энергии, которой обладают мелющие тела, необходимо исследовать процесс движения мелющих тел (МТ) с помощью соответствующих моделей. Так, в работе [6] процесс движения МТ рассматривается как движение каждого отдельно взятого сферического тела, его взаимодействие с другими телами, футеровкой барабана. Взаимодействие представляется как мгновенные изменения скоростей МТ, а между соударениями они движутся по параболическим траекториям. Импульс взаимодействия при ударе МТ о любую точку мельницы предлагается рассчитывать исходя из выражений [7]:

$$S_n = \frac{-(1+k)(V_{i0n} - \Omega_0(x_s \cdot n_y - y_s \cdot n_x))}{\frac{1}{m_{ui}} - \frac{(x_s \cdot n_y - y_s \cdot n_x)^2}{I_z} - \eta \frac{(x_s \cdot \tau_y - y_s \cdot \tau_x)}{I_z} (x_s \cdot n_y - y_s \cdot n_x)}, \quad (5)$$

$$S_\tau = \eta \cdot S_n, \quad (6)$$

где η – эффективный коэффициент трения скольжения; x_s, y_s – координаты точки удара; n_x, n_y, τ_x, τ_y – проекции единичных векторов локальной системы координат; k – коэффициент восстановления при ударе; m_{ui} – масса шара; I_z – момент инерции барабана относительно оси Z; Ω_0 – угловая скорость вращения барабана до удара; S_n, S_τ – импульсы ударного воздействия в нормальном и касательном направлении; V_{i0n} – нормальная проекция скорости шара до удара.

Для оценки кинетической энергии движения мелющих тел в продольном и поперечном направлениях используются выражения:

$$E_{крп} = \frac{I_u \omega_x^2}{2} + \frac{I_u \omega_y^2}{2} + \frac{m_u V_z^2}{2}; \quad E_{кнон} = \frac{I_u \omega_z^2}{2} + \frac{m_u V_x^2}{2} + \frac{m_u V_y^2}{2}, \quad (7)$$

где $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции угловой скорости; V_x, V_y, V_z – проекции линейной скорости шара; I_u – момент инерции шара.

Мощность (P_T), необходимая для обеспечения движения мелющих тел в шаровой мельнице, в таком случае можно определить как сумму изменений кинетической энергии в процессе взаимодействия шаров с корпусом:

$$P_T = \sum_{j=1}^n (\Delta E_{ir}^{\delta})_j / t, \quad (8)$$

где ΔE_{ir}^{δ} – изменение кинетической энергии корпуса за j -тый удар i -го шара; n – количество взаимодействий МТ с корпусом и другими телами за время определения мощности t .

Движение частиц материала, их взаимодействие друг с другом и мелющими телами также описывается приведенными выражениями.

Таким образом, математическая модель движения мелющих тел и частиц материала позволяет определить кинематические и динамические параметры объектов взаимодействия в камере помола, определить величину энергии, которой обладают МТ в зависимости от конструкции мельницы и скоростного режима движения ее корпуса, вычислить затрачиваемую мощность. Однако из-за наличия только косвенных методов расчета коэффициентов трения и соответствующих сил трения между взаимодействующими телами данный тип математических моделей достаточно точно описывает существо процесса, но обладает рядом погрешностей. Это в совокупности с невозможностью точного определения характера движения мелющей загрузки сильно влияет на достоверность значений параметров, рассчитанных в результате решения уравнений движений МТ. Из-за вышеописанных факторов данные математические модели не получили распространения в автоматических системах управления мельницами, но они активно используются в процессе их проектирования и для определения многих чисто теоретических параметров.

Таким образом, известные математические модели стохастических процессов измельчения не обладают достаточной информативностью для применения в эффективных системах автоматического управления, обеспечивающих постоянство гранулометрического состава готового продукта при достаточно высоких показателях критерия эффективности процесса измельчения. В условиях отсутствия подобной детерминированной модели процесса измельчения необходимо синтезировать модель, объединяющую в себе энергетические показатели с динамическими характеристиками процесса измельчения.

Обеспечить эффективную работу автоматической системы управления процессом измельчения шаровой мельницы, с использованием детерминированной модели процесса, в условиях неполной или недостаточной информации, можно, применив основанные на обучаемых нейронных сетях либо принципах нечёткой логики и нечёткого управления, эффективные методы определения

степени заполнения барабана мельницы загрузкой для установления более точных связей между значимыми параметрами [8].

Библиографический список:

1. Дуда В. Цемент / Пер. с нем. Е.Ш. Фельдмана; под ред. Б.Э. Юдовича. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Линч А.Д. Циклы дробления и измельчения: моделирование, оптимизация, проектирование и управление. - М.: Недра, 1981. – 342 с.
3. Бойбутаев Санжар Бахритдинович, Кадилов Ёркин Баходирович, Саттаров Олим Усмонкулович. Разработка экспертной системы управления процессом измельчения и классификации на основе нейронных сетей // Современные материалы, техника и технологии. 2017. №3 (11).
4. Кулаков А.Г. Ситуационное управление технологической безопасностью процесса измельчения: автореф. дис. ... канд.техн. наук: 05.13.06 /Андрей Геннадьевич Дмитрак. – Москва, 2008. – 19 с.
5. Туз А.А., Санаева Г.Н., Пророков А.Е., Богатиков В.Н. Нечётко-логический подход к моделированию процесса измельчения в агрегате непрерывного действия с замкнутым циклом Акционерного Общества «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/79TVN116.pdf> (дата обращения: 01.10.2020).
6. Воробьёв, Н.Д. Математическая модель движения мелющих тел в барабанных мельницах. Общие принципы построения. / Н.Д. Воробьёв, В.С. Богданов, М.Ю. Ельцов // Изв. Вузов. Горный журнал. - №8. - 1988 - С.116-119.
7. Старченко Д.Н. Особенности процесса движения мелющих тел в трубной мельнице с различными конструкциями внутримельничных устройств: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Старченко Денис Николаевич. – Белгород, 2010. – 20 с.
8. Ханин С.И., Ханзаров А.С., Мордовская О.С. Анализ применения систем нечеткой логики для управления процессом измельчения материала в шаровых мельницах. Машины, агрегаты и процессы в строительной индустрии // Сборник докладов национальной конференции, посвященной 50-летию кафедры механического оборудования БГТУ им. В.Г. Шухова / под ред. В.С. Богданова. – Белгород, 2020. – С.152-159.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.,

Горлов К.А., аспирант

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

В настоящее время методы автоматизированного контроля заполнения помольных камер шаровых мельниц измельчаемым материалом, мелющими телами и их состояния являются косвенными и основаны преимущественно на вибро-акустических параметрах агрегата. Разработка для этого методов и средств контроля берет начало в 60-х годах прошлого века и по сей день совершенствуется. Существующие методы не отображают реальной картины процесса измельчения [1-6, 23-25] и имеют погрешности измерения параметров, связанные с конструктивными и технологическими особенностями шаровых мельниц.

Так, в работе [1] контроль заполнения мельниц рассматривается на основе магнитомодуляционных датчиков, с помощью которых осуществляется возможность индикации угла отрыва шаров в мельнице. Недостатком такого контроля является низкая надежность, высокая стоимость, громоздкость, сложность внедрения.

Применяются радиотелеизмерительные датчики шума мельницы, регистрирующие степень заполнения барабана измельчаемым материалом. Такой способ контроля обладает невысокой точностью [1].

В работе [2] рассматривается применение радиоизотопного индикатора заполнения мельниц (РИЗМ). Анализ статических характеристик РИЗМа показывает, что одному и тому же показателю приемника могут соответствовать разные значения фактической степени загрузки. РИЗМ нельзя применить при работе загрузки мельницы в водопадном режиме [5].

Имеется способ контроля массы мелющей загрузки по величине активной мощности приводного двигателя мельницы [3]. Достоинством такого способа является то, что измерять активную мощность можно стандартными приборами. Недостатком является то, что из-за особенностей работы мельницы существуют переменные величины, которые влияют на работу двигателя, поэтому количественно оценивать мелющую загрузку только по активной мощности двигателя невозможно [4].

Шаровые мельницы различного типа во время своей работы издают шумы, акустического, вибрационного и электрического эффекта, чьи характеристики в определенной степени зависят от загрузки измельчаемым материалом помольной камеры мельницы [6]. В промышленности получили распространение методы контроля акустического или вибрационного шума. Такие приборы, как «Звук-7» (измерение акустического шума) и УРК-3 (измерение вибрационного шума) являются известными разработками ОАО «Союзцветметавтоматика». На смену им появился более совершенный ВАЗМ-1. Это универсальный интеллектуальный прибор нового поколения, реализованный на базе РС-совместимого контроллера. Прибор использует три типа параметров: акустический шум, вибрационный шум, энергетический шум [5, 21]. Анализатор состоит из микрофонного устройства ЗМЗ.843.003, вибродатчика ВК-310А, усилителя входных сигналов, контроллера ВАЗМ-1, модуля выходного сигнала.

Компания «Гортехинвест» предлагает устройство контроля загрузки сырьевых и цементных мельниц УКЗМ-1. Данное устройство уступает ВАЗМ-1, поскольку здесь в качестве косвенного сигнала используется только вибрационный, конкретно измеряется вибрация загрузочной цапфы мельницы. Сигнал поступающий с данного устройства характеризует степень загрузки мельницы, а также степень износа.

УЗКМ-1 включает в себя, вибропреобразователь, блок преобразования сигнала и блок контроля и интерфейса. Частотный диапазон – 500...5000 Гц.

На вращающихся печах для обжига цементного клинкера, известны применяются прямые методы контроля. Самый простой, это наблюдение и оценка оператором состояния процесса через смотровое окно. Из-за наличия человеческого фактора и зависимости от опыта оператора, данный способ является менее эффективным.

Так как в данных печах преобладает высокая температура и распределение градиента температур в печи является важным параметром, влияющим на технологический процесс обжига [8, 9, 10], для управления печью и получения качественного продукта нашли свое применение термопары, которые размещаются по всей длине корпуса печи. Такой способ является не достаточно надежным, из-за с указанной целью применяются пирометры [11, 12]. Но за счет помех в условиях запыленной и задымленной среды измерения будут отличаться от реальных значений температуры.

В настоящее время начинают все чаще применяться методы контроля и оценки состояния оборудования, основанные на анализе и обработке видеоизображений с помощью систем технического зрения (СТЗ) [13].

Системы технического зрения в современном мире появились относительно недавно и нашли широкое применение во всех отраслях промышленности. Около 90% информации человеком воспринимается через органы зрения [14], поэтому не трудно было предположить развитие и разработку технических решений с использованием систем технического зрения для облегчения деятельности человека в сферах, где необходимо визуальное наблюдение, или применение в сферах, недоступных зрению человека [24].

Помимо получения изображения возникает необходимость и в его обработке. Для этого требуется решение многих задач, таких как: кодирование изображения, восстановление изображения и улучшение качества, моделирование систем передачи изображения и многих других [17-20].

Значительный вклад в теорию и практику изображений, распознавание образов внесли В.М. Глушков, Н.Г. Загоруйко, Ю.Е. Нестерихин, А.А. Харкевич, Ф. Розенблат, А. Розенфельд, К. Фу, Р. Гонсалес и многие др.

В высокотемпературных печах изображение процесса обжига может быть получено с помощью видеосенсоров различного типа [25]. За счет высоких температур такие изображения получают с помощью специализированных камер или инфракрасных тепловизоров, с возможностью измерения температур в технологических зонах. Они работают в диапазоне длин волн невидимого человеческому глазу спектра 3-10 мкм. Однако, при сопоставимом качестве, такие камеры имеют стоимость выше, чем ПЗС-камеры, кроме того, из-за запыленности среды и помех полученные результаты искажены. Данные факты свидетельствуют о целесообразности поиска решения, которое позволит применение видеоустройства, работающего в видимом для человека спектре (0,4 – 0,7 мкм).

Такое устройство [26] разработано Пекинским научно-технологическим университетом - «вставной видеокomплекс для промышленных печей и система обработки изображений». Данное устройство представляет систему для наблюдения и обработки изображения, полученного внутри печи. Оно включает защитный корпус

с водяным охлаждением, двойную систему защитного обдува, устройство видеозаписи, монитор и цифровой термометр.

В работе [25] рассмотрена нечеткая система управления вращающейся цементной печью на основе системы технического зрения. Данная система также включает в себя HD-SDI камеру MDC-H4290CTD, с разрешающей способностью 1920x1080 пикселей и частотой 30 кадров в секунду; защитный термокожух WCH32T с автоматизированной системой защиты видеокamеры от перегрева и пыли, с регулирующими устройствами в шкафу управления; устройство аварийного извлечения. Полученные изображения, поступающие от видеокamеры, обрабатываются и выводятся на монитор оператора для возможности корректировки технологического процесса обжига.

Наличие систем дистанционного контроля процесса обжига материала, во вращающихся печах с помощью систем технического зрения, опыт их применения свидетельствует о целесообразности разработки основанных на аналогичных принципах систем, позволяющих осуществлять контроль и управление технологическими процессами, протекающими в помольных камерах шаровых мельниц.

Библиографический список:

1. Пат. 1338889. Шаровая мельница / Е.В. Проскурин, А.Я. Бочаров, Е.В. Покровский, Е.В. Хорхордин, И.Е. Митников, В.Ф. Пешат; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности. – № 3876865/29-33; заявл. 04.04.85; опубл. 23.09.87, Бюл. № 35. – 3 с.
2. Андреев С.Е. О внутреннем трении в шаровой мельнице // Горный журнал. – 1961. – №2. – С. 62 – 68.
3. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. – Москва: Высш. шк., 1983. – 295 с.
4. Богданов В.С., Воробьев Н.Д. Кинематика шаровой загрузки в барабанных мельницах с наклонными межкамерными перегородками // Изв.Вузов. Горный журнал. – 1985. – № 10. – С. 124-127.
5. Богданов В.С., Платонов В.С., Воробьев Н.Д. Расчёт мощности трубных мельниц с попеременно-продольным движением мелющих тел // Цемент. – 1985. – № 3. – С. 10-13.
6. Жуков В.П., Мизонов В.Е. Движение сыпучей среды во вращающемся барабане // Межвузовский сборник научных трудов: «Интенсивная механическая технология сыпучих материалов». Иваново:

Изд-во Ивановский хим.-технол. Институт, 1990.– Вып. 11. – С. 115 – 119.

7. Збожинек П. Установки помола сырья, цементного клинкера и других материалов // Цемент и его применение. – 2008. – № 3. – С.31-33.

8. Златкин В.И. Об одной, общей для барабанных мельниц закономерности // Обогащение руд. – 1975.– № 1.– С.9-11.

9. Ившенков В.И., Юдахин Н.Н. Определение положения центра масс загрузки трубной мельницы при водопадном режиме // Труды ВНИИЦеммаша, 1972. – Вып. 14. – С.81-85.

10. Кейсснер М., Крамер М., Мацумдар П.С. Опыт первого этапа эксплуатации шестивалковой сырьевой мельницы в Индии // Цемент и его применение. – 2009. – № 1. – С.30-34.

11. Кильчевский Н.А. Теория соударения твердых тел. – М.: Гостехиздат, 1949. – 242 с.

12. Большая иллюстрированная энциклопедия. В 32 томах. Т. 7 // ИД «Комсомольская правда». – М.: АСТ: Астрель, 2010. – 503 с.

13. Бронихин А.С., Гризак Ю.С. Основы автоматизации производства и контрольно – измерительные приборы на предприятиях промышленности строительных материалов. – М.: Стойиздат, 1974. – 312 с.

14. Бэтью Л. Сушка и помол угля // Цемент и его применение. – 2007. - № 3. – С.33-38.

15. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. – 252 с.

16. Веригин Ю.А., Маликова Л.Ю. Теоретическое исследование кинематики и динамики движения загрузки в быстроходной шаровой мельнице с энергообменным устройством // Изв., Вузов. Строительство 2001.– № 7.–С.85-89.

17. Витязь П.А., Ловшенко В.Г., Ловшенко Г.Ф. Механические сплавы на основе алюминия и меди. – Минск, Беларуская навука, 1998. – 351с.

18. Гейзенблазен Б.Е., Лорман Л.Т., Левченко М.Н. Разработка и исследования радиоизотопного измерителя заполнения мельниц мокрого самоизмельчения // Обогащения руд. – 1978. – №2. – С. 38–41.

19. Гинзбург И.Б. Автоматическое регулирование в промышленности строительных материалов. – Л.: Стройиздат, 1974. – 224 с.

20. Гончаров Ю.Г., Давидкович А.С., Гейзенблаен Б.Е. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1968. – 277 с.

21. Гринман И.Г., Сакбаев Ж.М., Жотобаев Ж.Р. Измерения степени загрузки мельницы рудой с помощью телеизмерительного датчика // Обогащение руд. – 1962. – №1. – С. 27–29.

22. Дамба-Очир Д., Принципы построения АСУ ТП измельчения на базе вибро-акустического анализатора загрузки мельницы ВА3М-1. Цветные Металлы 2003. – № 10. – С. 65-69.

23. Дэвис Э.В. Тонкое измельчение в шаровых мельницах // Теория и практика дробления и тонкого измельчения. – Л: 1932.– С. 121-130.

24. Дэнев С.И. О работе шаровой мельницы при сверхкритических скоростях // Цветные металлы. - 1962. - № 7. – С. 3 – 7.

25. Юдин Д.А. Автоматизированная система управления вращающимися печами с применением технического зрения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Юдин Дмитрий Александрович. – Белгород, 2014. – 169 с.

26. Пат. 2297726. Вставной видеокомплекс для промышленных печей и система обработки изображений / Г. Женгкай, Ж. Ченгпинг, В. Юньинг, Л. Чан, Г. Йонг. (Китай); заявитель и патентообладатель Пекинский научно-технологический университет/Шенванг пайониир тек корпорейшн бейджинг.- № 20041390018/09; заявл. 20.06.2005; опубл. 20.04.2007, бюл № 11. – 5 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Чемеричко Г.И., канд.техн.наук, доц.,

Аганов А.С., студент,

Ченцов А.Е., аспирант

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

Интенсивное развитие производства товаров народного потребления сопряжено с развитием индустрии машин, при помощи которых получают композиционные и полимерные материалы [1]. Бытовые приборы, предметы ежедневного пользования, компоненты промышленного оборудования, одежда, обувь, медицинское оборудование – это далеко не полный перечень изделий из этих материалов, которыми пользуется современный человек. Значительную часть таких полимерных изделий получают литьем. Современные технологии применяют такие методы, как литье пластмасс под давлением с предварительным сжатием, с наложением механических колебаний, мультикомпонентное литье, литье с газом и др. Сегодня именно литьевые машины являются универсальными аппаратами и могут использоваться для производства полимерных изделий, востребованных во всех областях жизни и деятельности человека.

На рисунке 1 представлена схема цепей оборудования для производства полиамидных зубчатых колес методом литья под давлением.

Гранулированный полистирол поступает в вагонах-цистернах 1 и пневмотранспортом подается в бункер 2, снабженный циклонами для очистки технического воздуха [2]. Из бункера с помощью секционного питателя и распределительного устройства гранулы поступают в литьевую машину 3, из которой отливка зубчатого колеса манипулятором 4 подается в аппарат механической обработки 5, затем с помощью пневмотранспорта она поступает в аппарат для затаривания 6. Межцеховым транспортом 7 коробки с готовыми изделиями перевозят на склад. Брак и литники измельчаются в дробилке 8, поступают в экструдер 9. Полимерные жгуты направляют в охлаждающую ванну с водой 10, после чего они нарезаются на гранулы барабанным ножом и пневмотранспортом подаются в бункер 2.

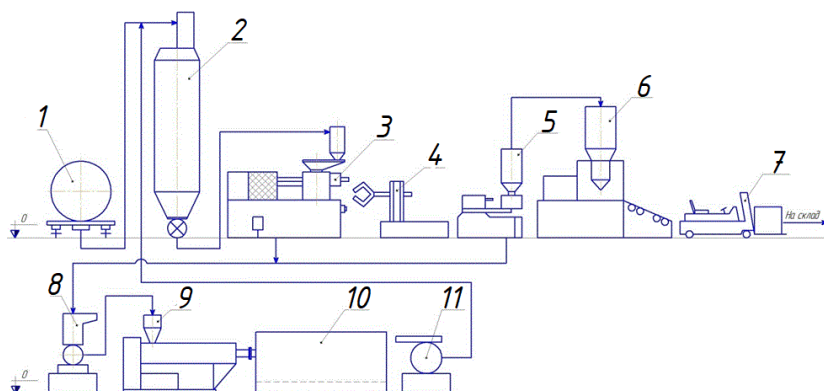


Рисунок 1. Схема производства полиамидных зубчатых колес

Главным оборудованием в приведенной выше схеме является литейная машина, состоящая из двух основных технологических механизмов: пластикации и впрыска расплавленного материала, и смыкания формы.

Принцип действия литейной машины и самого литья под давлением заключается в том, что гранулированный твердый пластик из бункера (рисунок 2) подается в нагревательный (пластикационный) цилиндр, снабженный электрообогревом, и перемещается вдоль него вращающимся шнеком [3].

Под воздействием тепла от нагревательных элементов, трения гранул друг о друга и сам шнек, сырье постепенно переходит из твердого состояния в пластическое. Практически жидкий пластик продвигается в переднюю часть цилиндра перед соплом и накапливается для последующего впрыска в пресс-форму. Давление впрыска обеспечивается перемещением шнека, который в этом случае работает как поршень. В узле смыкания находится подготовленная к процессу литья пресс-форма, и расплавленный полимер проталкивается (впрыскивается) в полость холодной литейной формы, состоящей из двух смыкающихся плит. Они образуют между собой полость с конфигурацией зубчатого колеса. Части пресс-формы смыкаются и запираются с достаточным усилием, чтобы предотвратить выход полимера через места соединения полуформ. Расплавленный материал приобретает конфигурацию зубчатого колеса и находится все это время

под давлением до отверждения в оформляющей полости из-за контакта с формой.

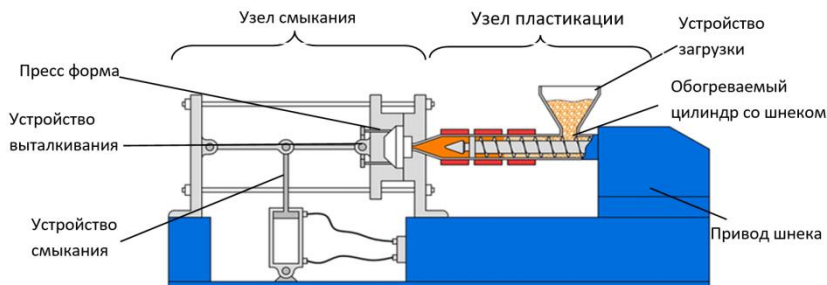


Рисунок 2. Принципиальная схема литейной машины

В течение выдержки изделия в форме на охлаждение вся система пластикации и впрыска возвращается в исходное положение для подготовки очередной порции расплава и последующего цикла литья. И как только требуемое количество расплава накоплено, происходит раскрытие пресс-формы, зубчатое колесо выталкивается наружу и удаляется соответствующим механизмом на механическую обработку. Плиты литейной машины сразу после удаления готового зубчатого колеса опять смыкаются и процесс литья повторяется. Примеры готовых зубчатых колес представлены на рисунке 3.

Литье под давлением характеризуется несколькими показателями, определяющими качество полученного изделия: механическими свойствами, точностью размеров, шероховатостью поверхности, плотностью и др [4]. Все они определяются особенностями формирования отливки. Прежде всего – это кратковременность заполнения полости пресс-формы расплавом. Скорость впрыска расплава в пресс-форму для разных конфигураций и размеров зубчатых колес колеблется от 86 до 113 мм/с, а конечное давление впрыска может достигать 140-215 МПа. Высокая кинетическая энергия движущегося расплава и давление, передаваемое на него в момент окончания заполнения формы, способствуют получению отливок с низкой шероховатостью поверхности.

Следующая особенность – это газонепроницаемость материала пресс-формы. Вентиляция рабочей полости происходит посредством специальных вентиляционных каналов. При высоких скоростях поступления расплава в её полость воздух, находящийся в пресс-форме,

не успевает полностью удалиться из пресс-формы за время заполнения ее расплавом.



Рисунок 3. Готовая продукция

Он препятствует заполнению пресс-формы и попадает в расплав, приводя к образованию раковин и газовоздушной пористости в отливках. Газовоздушная пористость приводит к уменьшению плотности отливок, снижению их герметичности и пластических свойств. Воздух, находящийся в порах отливки под высоким давлением, затрудняет ее механическую обработку. Для снижения газовоздушной пористости в отливках используют ряд технологических приемов, а также специальные способы литья под давлением.

Немаловажной является высокая интенсивность теплового взаимодействия между материалом отливки и пресс-формой, обусловленная ее высокими теплопроводностью и теплоемкостью, значительным давлением расплава и отливки на стенки пресс-формы, улучшающим контакт между ними [5]. Это способствует получению однородной структуры, особенно в поверхностных слоях отливки, повышению ее прочности и высокой производительности процесса литья.

Использование пресс-форм с точными размерами и низкой шероховатостью их рабочих поверхностей способствуют получению высокоточных отливок зубчатых колес по массе и геометрии.

Технология литья под давлением, реализуемая на современном оборудовании с соблюдением требований процесса и применением хорошо подготовленного сырья, позволяет изготавливать в большом количестве качественные изделия, востребованные в разных отраслях промышленности и бытовых условиях. При выборе оптимального метода пластикации удастся наладить рентабельное производство деталей любой сложности.

Библиографический список:

1. Завгородний В.К. Механизация и автоматизация переработки пластических масс. – М.: Машиностроение, 1970. – 565 с.
2. Торнер Р.В., Акутин М.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 400 с.
3. А.С. Тимонин, Г.В. Божко, В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, Н.В. Даниленко, М.Г. Лагуткин, М.А. Промтов, А.А. Сидягин, И.В. Скопинцев, Н.С. Трутнев, В.М. Ульянов. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработке. – М.: Машиностроение, 2017. – 877-878 с.
4. Электронный ресурс: <https://paketodel.ru>
5. Электронный ресурс: <http://megavattspb.ru>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНА

Чемеричко Г.И., канд. техн. наук, доц.,

Могутова А.А., студент,

Лазурко Г.В., магистрант,

Ченцов А.Е., аспирант

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

Этилен (по ИЮПАК – этен) – органическое химическое соединение, описываемое формулой C_2H_4 . При нормальных условиях – это бесцветный горючий газ легче воздуха со слабым сладковатым запахом. Он играет чрезвычайно важную роль в промышленности, является фитогормоном и самым производимым органическим соединением в мире после разработки метода его полимеризации под высоким давлением и изучения диэлектрических свойств получаемого полиэтилена.

Современные промышленные установки производства полимерных материалов строят на основе использования этилена нефтяных и попутных газов. Нефтяные газы образуются в процессе крекинга нефти при температуре 400-450°C и пиролиза нефти при температуре около 700°C. Попутные газы, выделяющиеся при добыче нефти и содержащие в основном парафиновые углеводороды (метан, этан, пропан, бутан и др.), подвергаются высокотемпературному крекингу, в результате чего они превращаются в этилен с достаточно высоким выходом [1].

Для выделения концентрированного этилена из газовых смесей применяют несколько методов с использованием ректификационных колонн.

При ректификационном метод газовую смесь сжимают под давлением, и при охлаждении от -100°C до -118°C она разделяется на отдельные фракции. На рисунке 1 представлена схема расположения колонн при этом методе получения этилена.

При адсорбционно-ректификационном методе из исходной смеси предварительно адсорбируют растворителями все компоненты, кроме метана и водорода, а затем производят ректификацию адсорбированных компонентов. Преимуществом этого метода по сравнению с описанным выше является возможность ограничиться температурами от -20°C до -30°C.

Адсорбционно-десорбционный метод позволяет разделять смеси газов в непрерывно движущемся слое гранулированного адсорбента. Концентрация получаемого этилена этим методом составляет 97-98%.

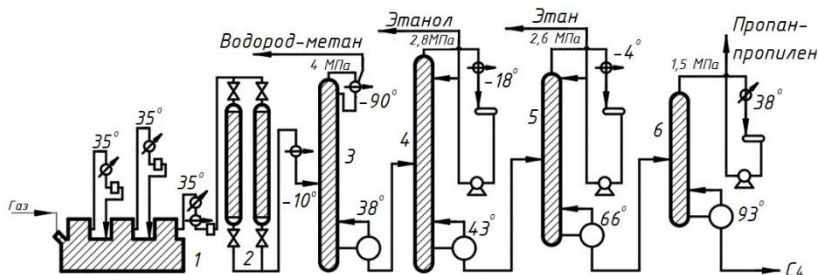


Рисунок 1. Схема получения этилена ректификационным методом.

1 - компресссионная установка, 2 - адсорбционно-опарная колонна, 3 - регенерационная колонна, 4 - осушительная колонна, 5 - этиловая колонна, 6 - пропан-пропиленовая колонна.

Так как этилен подвергают полимеризации, перед этим процессом его обязательно очищают от каких бы то ни было примесей. Допускается содержание незначительного количества только парафиновых углеводородов (этана и пропана). Особенно недопустимы примеси ацетилена и кислорода. Поэтому очистка, степень которой достигает практически 100% (99,99%) является энергозатратной, так как связана с загрязнением атмосферы и окружающей среды и требует современных высокоэффективных очистных комплексов.

В настоящее время распространены процессы получения этилена из продуктов как пищевого, так и непищевого сырья (в частности из биоспиртов). При этом в качестве катализатора для гидротации этанола в этилен чаще всего используют высокотемпературные алюмооксидные, среднетемпературные цеолитсодержащие и низкотемпературные гетерополикислотные системы. Но наиболее перспективными признаны катализаторы на основе активированного оксида алюминия или фосфорной кислоты на подходящей подложке. Для получения этилена таким методом в промышленности применяют реакторы с неподвижным реакционным слоем.

Технологическая система может работать как в изотермических, так и в адиабатических условиях. Теоретический выход этилена составляет

от 94 до 96 %. Так же выделяются и побочные продукты процесса – альдегиды, кислоты, высшие углеводороды, углекислый газ и вода [2].

Такой способ каталитического процесса протекает с поглощением тепла, т.е. со значительными эндотермическими эффектами, что требует постоянного подвода тепла, и может использоваться в химической, нефтехимической промышленности, предпочтительно для получения этилена путем каталитической дегидратации этанола[3].

На рисунке 2 приведена конструкция реактора для получения этилена, в котором осуществляется описанный способ.

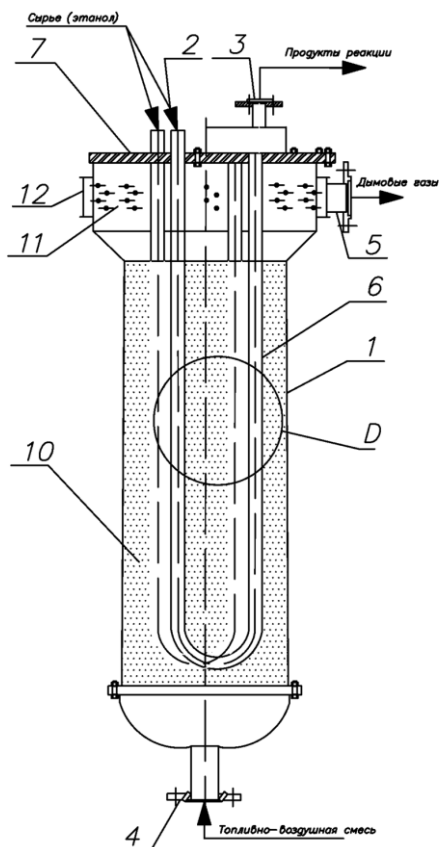


Рисунок 2. Реактор для получения этилена

Реактор состоит из вертикального корпуса 1 с патрубками подвода исходного сырья 2 и патрубками отвода продуктов реакции 3, патрубками подвода топливно-воздушной смеси 4 и патрубками отвода дымовых газов 5, множества трубок U-образной формы 6, входные и выходные торцы которых закреплены в находящейся в верхней части реактора трубной решетке 7. На рисунке 3 представлены трубки, которые заполняют химически инертным керамическим материалом 8, предпочтительно из фарфоровой плотно спеченной массы, и гранулированным катализатором 9, предпочтительно на основе алюмооксидных систем, для проведения эндотермической реакции дегидратации этанола. Пространство между трубками заполняют находящимся в псевдооживленном состоянии слоем 10 мелкодисперсного катализатора, предпочтительно, на основе оксидов меди, магния, хрома и алюминия, для проведения экзотермической реакции полного окисления компонентов топливно-воздушной смеси. В верхней части реактора имеется обечайка 11, диаметр которой больше, чем диаметр корпуса 1, а также кольцевой коллектор 12 для сбора дымовых газов и направления их в патрубки 5.

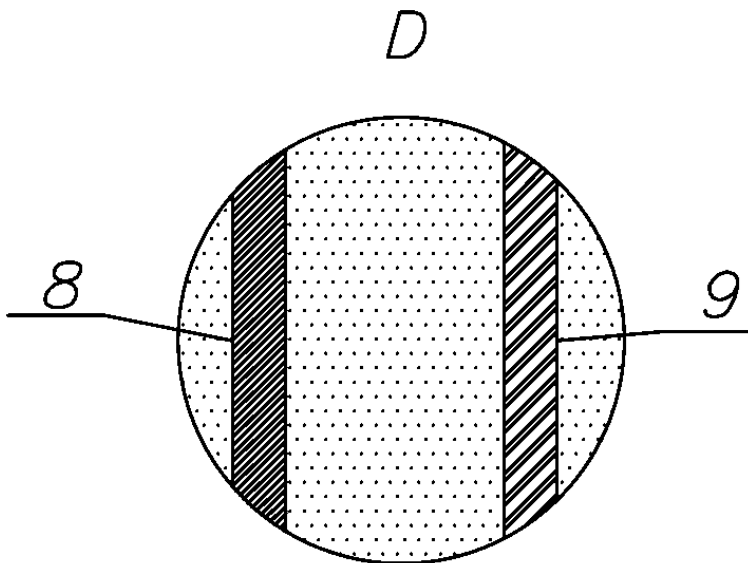


Рисунок 3. Участок U-образных трубок

Через патрубки 2 в трубки 6 подают водно-спиртовую смесь, содержащую 93-96% этанола, которая испаряется во входном участке U-образных трубок, заполненном инертным материалом 8, которые затем поступает в выходной участок U-образных трубок, заполненный катализатором 9. В выходном участке трубок протекает эндотермический процесс дегидратации этанола, сопровождающийся образованием целевого продукта - этилена, а также побочных продуктов - ацетальдегида, диэтилового эфира, бутиленов, монооксида углерода, воды и других.

Из продуктов реакции выделяют этилен. Побочные продукты и остаточный этанол подвергают полезному использованию в качестве компонентов топливно-воздушной смеси. Нагретую топливно-воздушную смесь подают через патрубок 4 в межтрубное пространство корпуса реактора 1 и используют для псевдоожижения слоя 10 мелкодисперсного катализатора. Необходимое тепло для испарения этанола и дегидратации этанола в этилен получают путем проведения экзотермической каталитической реакции полного окисления компонентов топливно-воздушной смеси в псевдоожиженном слое мелкодисперсного катализатора в интервале температур 350-450°C, предпочтительно в интервале 390-420°C. Регулируют эту температуру изменением расхода топливно-воздушной смеси, и/или ее состава, и/или ее входной температуры.

Обеспечивается равномерное распределение температур в межтрубном пространстве (перепад температур по высоте трубок составляет всего 0,5-2°C) за счет интенсивного теплообмена между псевдоожиженным слоем и поверхностью трубок с катализатором. Помимо побочных продуктов реакции и этанола в качестве компонентов топливно-воздушной смеси используют любые углеводороды с числом углеродных атомов от 1 до 15 (метан, пропан-бутановую смесь, дизельное топливо) [4].

Данный метод обеспечивается повышенной интенсивностью и равномерностью передачи тепла от теплоносителя к трубкам с катализатором, за счет применения теплоносителя в виде псевдоожиженного слоя мелкодисперсного катализатора. Именно это обеспечивает греющую среду (теплоноситель) для эндотермического процесса получения этилена, которая образуется непосредственно внутри корпуса реактора за счет экзотермических реакций каталитического сжигания топливно-воздушной смеси. Благодаря тому, что побочные продукты используются повторно, решается проблема

экологичности за счет полной утилизации выбросов, а также генерируется полезное тепло для проведения эндотермического процесса. Не менее важно, что U-образная форма реактора способствует более равномерному подводу тепла и повышает надежность и безопасность процесса [5].

Библиографический список:

1. Чемеричко Г.И., Бражник Ю. В. Механическое оборудование заводов по производству полимеров: учебное пособие / Г.И. Чемеричко, Ю.В. Бражник. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – 168 с.
2. Ф. Ш. Вильданов, Ф. Н. Латыпова, Р. Р. Чанышев Получение этилена из биоэтанола – альтернативный путь производства углеводородного сырья для нефтехимических процессов // Башкирский химический журнал. 2011. Том 18. № 3. С. 132-135.
3. Бегунов Р.С. Химические реакторы в промышленности: метод. указания / А. Н. Валяева, Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Р. С. Бегунов. – Ярославль: ЯрГУ, 2011. – 58с.
4. И.С. Яковлева, С.П. Банзаракцаева, Е.В. Овчинникова, В.А. Каталитическая дегидратация биоэтанола в этилен // Катализ в промышленности. 2016. Том 16. № 1. С. 58-73.
5. Овчинникова Е. В. Разработка малотоннажного процесса дегидратации этанола в этилен на алюмооксидных катализаторах в трубчатом реакторе: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Новосибирск. 2019. 135с.

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИДРОЦИКЛОНОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Щендрыгина И.В., аспирант,

Лазыко Е.В., студент,

Яроцкая М.Ю., студент,

Григоренко А.А., студент

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

Гидроциклон – технологическое оборудование с помощью которого из потока обрабатываемой жидкости выделяются частицы твердой фазы заданного размера и плотности.

Конструктивно гидроциклон представляет собой аппарат, состоящий из камеры загрузочной, цилиндрической части, конической части, насадок песковой и сливной, а также питающего и сливного патрубков.



Рисунок 1. Конструкция гидроциклона

Гидроциклоны - аппараты, в которых для разделения жидких неоднородных систем используется поле центробежных сил инерции, возникающее вследствие организации определенного движения потоков [2].

Первый промышленный гидроциклон был создан в 1944 году.

С 1950 года начались эксперименты с конструкцией гидроциклонов, а именно с эвольвентным типом питания, от которого зависит действующая сила процесса гидроциклонирования – центробежная сила, и различными видами футеровок. Принципиальная конструкция

гидроциклонов значительно не изменилась, однако следует отметить, что в современное время большее применение получили гидроциклоны не цилиндрической формы, а цилиндрико-конической [1].

Современный рынок производителей гидроциклонов в мире представлен следующими компаниями:

- FLSmidth Krebs (Дания);
- Weir Minerals (Великобритания);
- Multotec Process Equipment (Южная Америка);
- Metso (Финляндия).

Каждая из этих компаний, зная, что от конструкции камеры загрузочной и питающего патрубка зависит действующая сила процесса гидроциклонирования – центробежная сила, совершенствуют свое оборудование именно в области питания гидроциклона.

Компания FLSmidth Krebs является лидером в изготовлении гидроциклонов с 1952 года. Krebs производит гидроциклоны марки gMAX, основная особенность которых усовершенствованная конструкция камеры загрузочной для более четкого и тонкого разделения [3].



Рисунок 2. Конструкция гидроциклона gMAX компании FLSmidth Krebs

Компания Weir Minerals является производителем гидроциклонов CAVEX. Конструкция камеры питания CAVEX обеспечивает плавное смешивание потока пульпы на подаче и плавное вращение внутри рабочей камеры за счет отсутствия острых граней и прямых углов, что обеспечивает более равномерный износ гидроциклона, увеличение его срока службы и эффективное разделение фракций [4].



Рисунок 3. Сравнение конструкций камеры питания гидроциклона CAVEX и обычного гидроциклона: *а* – гидроциклон CAVEX; *б* – обычный гидроциклон

Multotec Process Equipment имеет целый ряд гидроциклонов, отличающихся от конкурентов уникальной конструкцией входного патрубка. Специалисты компании доказали, что при подачи питания по эвольвенте или «лентой» достигается более высокая производительность по сравнению с другими видами входных патрубков. При использовании входного патрубка Multotec уменьшается износ сливной насадки при одновременном снижении эксплуатационных расходов и увеличении эффективности гидроциклона [5].

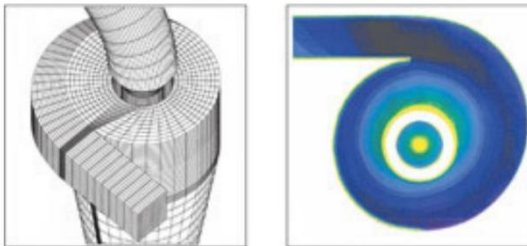


Рисунок 4. Конструкция камеры питания с входным патрубком гидроциклона Multotec

Сотрудники финской компании Metso, образованной в 1999 году, на данный момент разработали серию гидроциклонов, которые обладают новой уникальной конструкцией входного патрубка, за счет которого обеспечивается увеличение производительности.

Входной патрубок гидроциклонов Metso предназначен для обеспечения равномерного перемещения материала в гидроциклоне с минимально возможной турбулентностью [7].

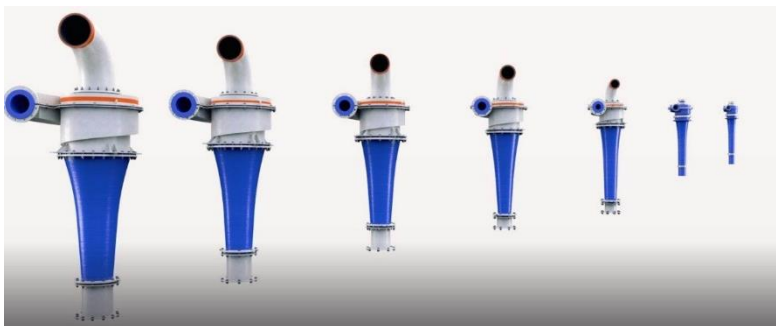


Рисунок 5. Серия гидроциклонов Metso

Проанализировав существующие конструкции гидроциклонов современных производителей, можно сделать вывод, что основными направлениями совершенствования данного оборудования являются увеличение эффективности работы, увеличение износостойкости футеровки, простота технического обслуживания за счет изменения конструкции камеры загрузочной и питающего патрубка гидроциклонов.

Библиографический список:

1. Бауман А.В. Гидроциклоны. Теория и практика.: Новосибирск, Гормашэкспорт, 2018. – 56 с., ил Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. М.: Стройиздат. 1990. 352 с.
2. Батуров В.И., Лейбовский М.Г. Гидроциклоны: Конструкции и применение. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1973. 59 с.
3. ООО «ФЛСмидтРус» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flsmidth.com/en-gb/ru/>
4. Weir Group [Электронный ресурс]. URL: <https://www.global.weir/>
5. Multotec Pty Ltd [Электронный ресурс]. URL: <https://www.multotec.com/en/gallery/images/mineral-processing-equipment/cyclones?page=2>
6. Metso Corporation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metso.com/ru/>

РЕАЛИЗАЦИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ ЗАГРУЗКИ СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ

Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,

Погосбеков А.А., студент,

Григоренко А.А., студент

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

Задачей является реализация селективной загрузки исходного материала и выгрузки готового продукта в смесителе с двунаправленным вращательным воздействием на материал.

Описанный ранее смеситель с двунаправленным вращательным воздействием на материал [1] имеет определенный недостаток. Он обусловлен наличием неоднородных частиц загружаемого и выгружаемого материала ввиду отсутствия их классификации. Предлагается организовать селективность загрузки и выгрузки материала, что приведет к повышению эффективности перемешивания материалов в смесителе. Целесообразность предлагаемого технического решения подтверждена патентом [2].

Конструктивно, смеситель состоит из смесительной камеры 1 сферической формы с люком 2. Смесительная камера 1 закреплена на водиле 3. На водиле размещены передачи вращения 4. Водило 3 закреплено на стойках 5. На одной из стоек 5 закреплен фиксатор 6.

Люк 2 жестко закреплен, например, болтами, на сферической камере. Люк выполнен в виде короба 7 прямоугольной формы. На внутренних противоположных стенках короба закреплены, например, сваркой, салазки 8 с возможностью перемещения по ним сплошной 9 или сетчатой 10 пластины. Сетчатая пластина 10 имеет требуемый размер ячейки. Пластины установлены в короб через отверстие 11. На правой стороне короба 7 установлен стопировщик 12 с возможностью фиксации с пластиной.

Для селективности загружаемого материала необходимо установить сетчатую пластину 10 с требуемым размером ячейки. Попадающие в камеру 2 материалы под действием сил тяжести устремляются вертикально вниз и распределяются под входным люком 2. Предполагается заполнение материалом сферической смесительной камеры на одну треть объема.

Люк 2 закрывается сплошной 9 пластиной и начинается рабочий цикл. Вращение водила осуществляется посредством передач вращения.

Создаваемый двигателем крутящий момент вращает водило 3 со смесительной камерой 1 с большими угловыми скоростями. Реализованное двунаправленное вращательное воздействие на материал приводит к повышению интенсивности перемешивания частиц.

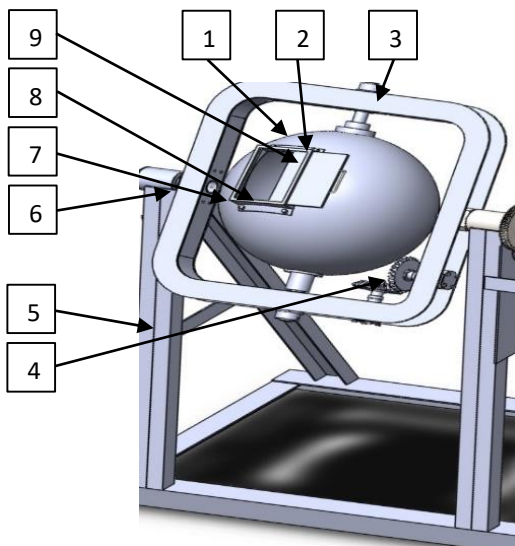


Рис.1 Смеситель

Двунаправленное вращательное воздействие на материал происходит в двух взаимно перпендикулярных направлениях. С одной стороны, центробежные силы обусловлены вращением водила 3 с закрепленной на нём смесительной камерой 1 относительно горизонтальной оси. С другой стороны, центробежные силы обусловлены вращением собственно смесительной камеры 1 относительно оси, взаимно перпендикулярной горизонтальной оси. Суперпозиция сил заставляет частицы материала перемещаться по сложной траектории.

Продолжительность рабочего цикла варьируется в зависимости от загружаемого материала.

При отключении электропитания (на рис.2. не показано), водило 3 со смесительной камерой 1 останавливается и фиксируется фиксатором

6. Для осуществления селективности выгрузки материала следует отжать стопировщик 12 и вытянуть сплошную пластину 9. Затем установить сетчатую пластину 10. Сетчатая пластина 10 фиксируется стопировщиком 12 и происходит выгрузка материала.

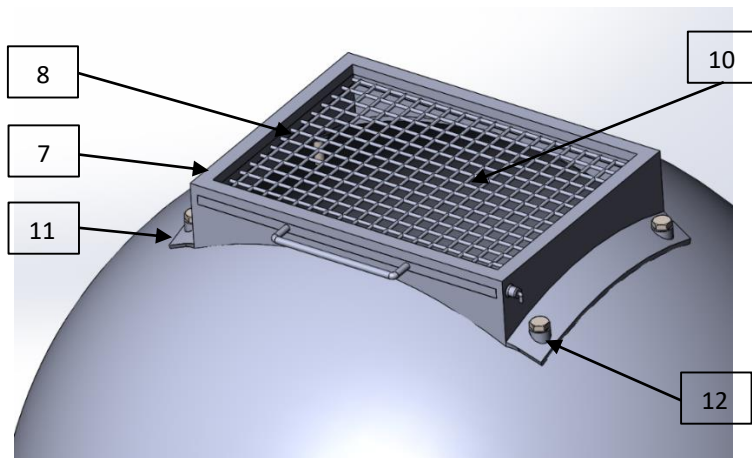


Рисунок 2 Предлагаемое техническое решение

Возможность использования сетчатых пластин 10 с требуемым размером ячейки позволит организовать селективную загрузку и выгрузку материала. Кроме того, использование сетчатых пластин позволит ограничить выход не перемешанных частиц (скопления частиц), т.е. осуществить классификацию.

Предлагаемое решение позволит обеспечить селективность загрузки и выгрузки материала, что приведет к повышению эффективности при перемешивании материала в смесителе в целом.

Библиографический список:

1. Юдин К. А., Дегтярь А.Н., Харин Н.П. Моделирование двунаправленного вращательного воздействия на материал в сферической смесительной камере // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №5. С.126 – 132.
2. Пат. 199421. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин, А.А. Погосбеков; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. - №:2020121518, заявл. 25.06.2020; опубл. 01.09.2020, бюл. №25. – 2 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
ПЕРЕРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Абдукаликова Г.М., Толеубаева Ш.Б., Сулеймбекова З.А., Сиваченко Л.А. ГЛУБИННОЕ ВИБРОУПЛОТНЕНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ С ПРУЖИННЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ КОЛЕБАНИЙ.....	7
Абильдин С.К., Кропачев П.А., Аубакирова Б.Б., Мухамеджанова А.Т. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	17
Анциферов С.И., Карачевцева А.В., Обернихин А.А., Ефременко С.А. АНАЛИЗ РЫНКА КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК.....	23
Богданов В.С., Скитов И.А., Скитова В.М. ЩЕКОВАЯ ДРОБИЛКА С БОЙКАМИ ИМПУЛЬСНО-УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ	27
Богданов В.С., Фадин Ю.М., Анциферов С.И., Калашников И.А. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И РЫНКА ВИБРОПЛОЩАДОК	31
Богданов В.С., Чемеричко Г.И., Несмеянов Н.П., Кошелев М.А., Дейнеко С.Ю. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЯ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	36
Богданов В.С., Чемеричко Г.И., Ченцов А.Е., Ченцов Д.Е. ОБЗОР СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ПОРОДЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЩЕБНЯ	42
Булгаков С.Б., Анциферов С.И., Попович А.В., Сергеев Д.О. АНАЛИЗ РЫНКА СТРУЙНЫХ МЕЛЬНИЦ.....	47
Герасимов М.Д. К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ВИБРАЦИОННЫХ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК.....	51
Герасимов М.Д. ПОВЕДЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ	64

Герасимов М.Д., Бражник Ю.В., Шатохин С.Г. ОСВОЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ	76
Герасимов М.Д., Шатохин С.Г., Молчанов Е.Ю., Шумаков А.В., Киреев Н.О., Бутиков П.С. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕВОДА ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С НАПРАВЛЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ В АСИММЕТРИЧНЫЕ	83
Герасимов М.Д., Шатохин С.Г., Молчанов Е.Ю., Шумаков А.В., Киреев Н.О., Бутиков П.С. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗА МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ.....	90
Горшков П.С., Кун М.С. АНАЛИЗ РЫНКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ-ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	95
Гуркина А.В., Сиваченко Л.А. К РАЗВИТИЮ ПОДХОДОВ ВИБРОСТЕРЖНЕВОГО УПРОЧНЕНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	101
Дмитриенко В.Г., Шеметов Е.Г., Андроник Н.Н., Ратушный Н.Г. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬЮ ДО 100 ТОНН.....	109
Кикин Н.О., Ханина Е.Г. СИМУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ МАТЕРИАЛА ЛОПАСТНЫМ СМЕСИТЕЛЕМ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ЕДЕМ.....	117
Лозовая С.Ю., Кравченко В.М., Гавшин А.П., Анискович Д.А. ВАКУУМ-ПРЕССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА	126
Лозовая С.Ю., Кравченко В.М., Рысков М.С., Гавшин А.П., Анискович Д.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВАКУУМНОГО ЛЕНТОЧНОГО ПРЕССА СМ-443.....	130
Лозовая С.Ю., Рысков М.С., Кравченко В.М. ВИБРАЦИОННОЕ СМЕСИТЕЛЬНО-ПОМОЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО С ДВУМЯ СИММЕТРИЧНЫМИ ВИБРАТОРАМИ	136

Лозовая С.Ю., Кравченко В.М., Тулина А.В. АНАЛИЗ РЫНКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ.....	139
Лозовая С.Ю., Кравченко В.М., Тулина А.В. ПРОБЛЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	143
Малахов М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION.....	147
Матусов М.Г., Бражник Ю.В., Бражник А.А., Кошелев М.А., Дейнеко С.Ю. СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	152
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Бражник А.А., Каторгин И.С., Скворцов Д.С. АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СМЕСИТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОЙ СРЕДОЙ....	156
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Картыгин А.В., Белоус А.С., Зайцев М.С. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫХ ЭНЕРГООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ	162
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Денисова Е.М., Королева Л.А. СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ТРУБНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ	167
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Картыгин А.В., Белоус А.С. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ МАТЕРИАЛОМ БАРАБАНА ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РАБОТЫ.....	173
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Каторгин И.С., Гунченко О.Ю. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ВИБРОСОРТИРОВКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.....	176
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Каторгин И.С., Скворцов Д.С. СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ В СМЕСИТЕЛЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	180

Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Королева Л.А., Денисова Е.М. ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ	185
Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Александрова Е.Б., Гунченко О.Ю., Скворцов Д.С. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ СЕПАРАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.....	190
Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Бражник А.А., Дейнеко С.Ю., Кошелев М.А. РАЗРАБОТКА ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	193
Новиков И.А., Саплинова В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНОМ АППАРАТЕ БАРАБАННОГО ТИПА С БЫСТРОВРАЩАЮЩИМСЯ РОТОРОМ.....	197
Новиков И.А., Саплинова В.В. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА И СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ	202
Романович М.А., Зернов И.С. АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЁДА И СПОСОБОВ БОРЬБЫ С НИМ	205
Романович М.А., Зернов И.С., Дробот А.С. АНАЛИЗ ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПОСОБОВ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....	208
Романович М.А., Зернов И.С., Матвеев В.А. АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ БОРЬБЫ С ГОЛОЛЁДОМ	212
Романович М.А., Зернов И.С., Матвеев В.А. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕСКОРАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ	216
Романович А.А., Бабаевский А.Н., Пахомов Е.Г., Калашников И.А. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ДУХРОТОРНОГО СМЕСИТЕЛЯ И ВОЗМОЖНОЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ.....	220
Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР С ПОВЫШЕННЫМ ИСТИРАЮЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ	224

Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР С РАЗГОННЫМ КОНУСОМ.....	227
Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР СО СФЕРИЧЕСКИМ НАКОПИТЕЛЕМ.....	231
Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РОТОРНЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ	235
Семикопенко И.А., Бороздин Е.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР С ДУГОВЫМ КОРОБОМ.....	239
Семикопенко И.А., Бороздин Е.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР С КЛАССИФИКАЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ.....	242
Семикопенко И.А., Бороздин Е.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ	245
Семикопенко И.А., Бороздин Е.А., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР С РАЗБРАСЫВАТЕЛЕМ	249
Семикопенко И.А., Севостьянов А.Э., Немыкин А.С., Скитов И.А., Скитова В.М. ДЕЗИНТЕГРАТОР	253
Семикопенко И.А., Севостьянов А.Э., Немыкин А.С., Скитов И.А., Скитова В.М. ДИСКОВЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ.....	257
Семикопенко И.А., Севостьянов А.Э., Немыкин А.С., Скитов И.А., Скитова В.М. ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ДИСКОВЫЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ	261
Сиваченко Л.А. МОБИЛИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ БЕЛАРУСИ	265
Сиваченко Л.А., Курочкин Н.В. ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛОТКОВЫХ ИЗМЕЛИТЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМОМ ДВИЖЕНИЕМ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ МУКИ.....	274
Утенов Е.С., Мухамеджанова А.Т., Аубакирова Б.Б., Абдукаликова Г.М. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОСАДКИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ФУНДАМЕНТА ВЫЗВАННОЙ ПОДТОПЛЕНИЕМ ОСНОВАНИЯ.....	278
Фадин Ю.М., Анискович Д.А., Гавшин А.П., Кравченко В.М., Лазько Е.В., Кучерова Ю.О. ОБЗОР ФИРМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ФУТЕРОВОЧНЫХ ПЛИТ ДЛЯ МЕЛЬНИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	285
Фадин Ю.М., Павлова М.А., Лазько Е.В., Яроцкая М.Ю., Григоренко А.А. МЕЖКАМЕРНАЯ ПЕРЕГОРОДКА ТРУБНОЙ МЕЛЬНИЦЫ	289

Фадин Ю.М., Тибейкин В.В., Карачевцева А.В. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ	293
Фадин Ю.М., Юдин К.А., Павлова М.А., Лазько Е.В., Яроцкая М.Ю. РАСКЛАДКА БРОНЕПЛИТ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ Ø5×15,75 М ...	299
Фадин Ю.М., Шеметова О.М., Шеметов Е.Г., Лазько Е.В., Яроцкая М.Ю. ВЫБОР ФУТЕРОВКИ ДЛЯ ПНЕВМОСМСЧИТЕЛЕЙ	303
Ханин С.И., Ханзаров А.С. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ШАРОВЫХ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ	306
Ханин С.И., Горлов К.А. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	312
Чемеричко Г.И., Аганов А.С., Ченцов А.Е. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.....	318
Чемеричко Г.И., Могутова А.А., Лазурко Г.В., Ченцов А.Е. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНА	323
Щендрыгина И.В., Лазько Е.В., Яроцкая М.Ю., Григоренко А.А. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИДРОЦИКЛОНОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ	329
Юдин К.А., Погосбеков А.А., Григоренко А.А. РЕАЛИЗАЦИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ ЗАГРУЗКИ СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ	333

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Межвузовский сборник статей
Ответственный за выпуск *Ю.В. Бражник*
Компьютерная верстка *Ю.В. Бражник*

Подписано в печать 1.12.20 г.
Формат 60х90/16. Уч. Изд. л. 19,1 Печ. л. 19,8
Тираж 20 экз. Заказ №

Отпечатано в Белгородском государственном
технологическом университете им. В.Г. Шухова
308012, Белгород, Костюкова, 46 .