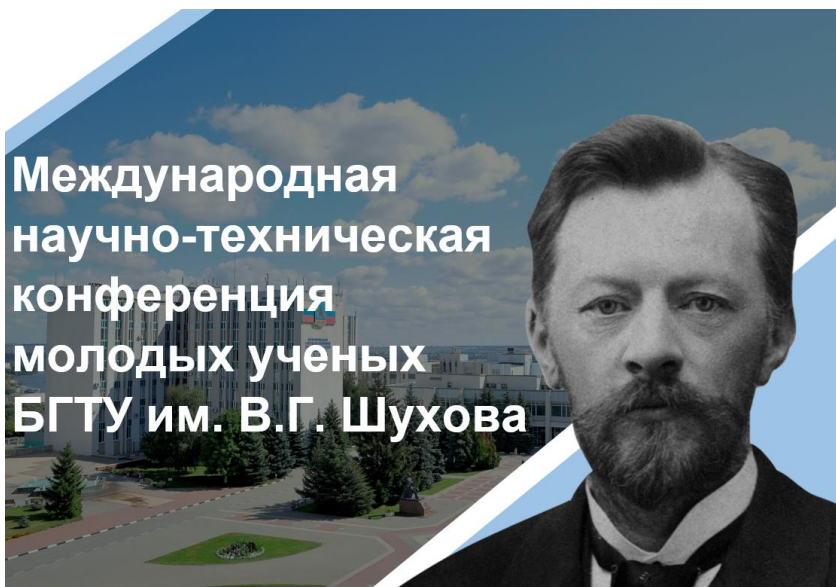


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 8

**Технологические комплексы, оборудование
предприятий строительных материалов,
стройиндустрии и горного дела**

**Белгород
29-30 мая 2025 г.**

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:**
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – Ч. 8. – 68 с.

ISBN 978-5-361-01461-3

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01461-3

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

Ашихмин Э.А., Медведев С.В., Кулик А.Г.

Научный руководитель: Анциферов С.И. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия.

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Способы измельчения материалов разнообразны и в зависимости от назначения и принципа действия в машинах для измельчения могут использоваться различные виды нагрузок: раздавливание (сжатие куска), излом (изгиб), раскалывание (эквивалентно растяжению), истирание и удар (Рис. 1). [2]

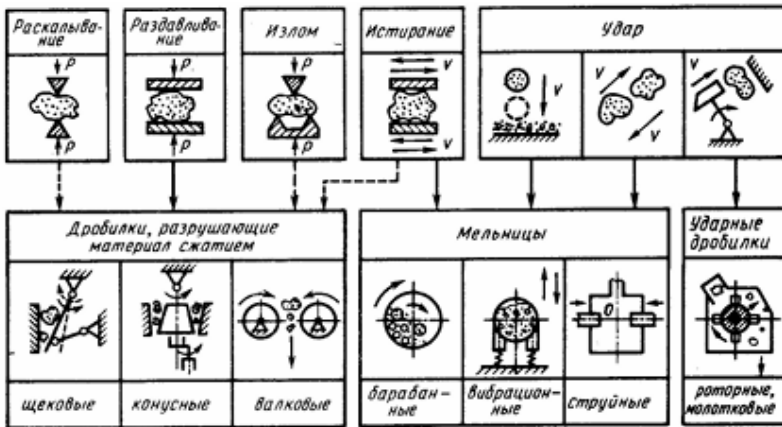


Рис. 1 Способы измельчения материалов, реализуемые в дробилках и мельницах.

Во многом вибрации возникают непреднамеренно и могут быть вредными для оборудования [5]. Но в некоторых установках энергию вибрацию используют для того, чтобы измельчать материалы повышенной твердости. Так, чтобы выяснить влияние вибрационных колебаний, мы сравним работу валковой дробилки и вибровалкового измельчителя.

Вибровалковый измельчитель – это оборудование, предназначенное для измельчения твердых и абразивных материалов путем динамического высокочастотного сжатия со сдвигом [4] (Рис. 2).

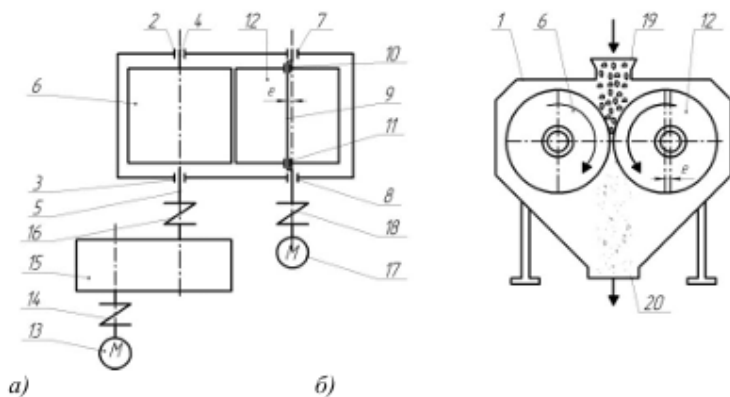


Рис. 2 Схема вибровалькового измельчителя:

а – вид сверху, б – вид сбоку

1 – рама; 2,3 – опоры неподвижного вала; 4,5 – цапфы; 6 – неподвижный валок; 7,8 опоры эксцентрикового вала; 9 – эксцентриковый вал; 10,11 – опоры подвижного вала; 12 – подвижный валок; 13 – электродвигатель; 14 – муфта; 15 – редуктор; 16 – муфта; 17 – электродвигатель; 18 – муфта; 19,20 – люки для загрузки и выгрузки.

Валковая дробилка – это специализированное оборудование, которое предназначено для измельчения различных материалов путем их раздавливания между двумя вращающимися валками. Дробилки данного типа широко применяются в добывающей, строительной и металлургической отраслях для первичного и вторичного среднего и мелкого дробления горных пород, угля, кокса и других сыпучих материалов средней и малой прочности (Рис. 3) [1].

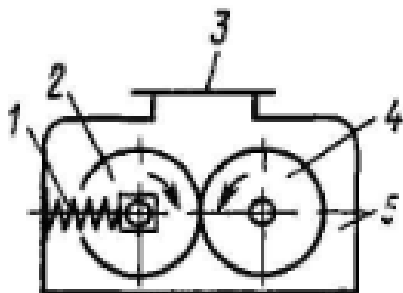


Рис. 3 Схема валковой дробилки:

1 – пружина; 2,4 – подвижный и неподвижный валки; 3 – загрузочное отверстие; 5 – корпус.

Две данные машины имеют схожие конструкции с некоторыми отличиями. Особенность вибровалкового измельчителя является использование эксцентрикового вала, который дополнительно создает вибрационные колебания. Они позволяют эффективнее обрабатывать материал, так кроме сжатия материал подвергается ударно-истирающему воздействию, что положительно сказывается на измельчении и обеспечивает тонкое измельчение материалов. За счет динамического воздействия для разрушения требуется меньше усилия, чем в обычной валковой дробилке, что позволяет эффективно измельчать твердые породы. Таким образом вибрационные колебания позволяют повысить производительность оборудования, позволяют измельчать более твердые материалы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1980. 415 с.
2. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие, Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. 75 с.
3. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 285 с.
4. Сотник Л.Л. Сравнительный анализ процесса измельчения сильвинитовой руды в вибровалковом измельчителе на различных режимах / Л.Л. Сотник, Л.А. Сиваченко // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. - Минск: БГТУ, 2020. - № 2 (235). - С. 76-81. - Библиогр.: 14 назв. - ил., табл.
5. Богданов В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. - 551 с.

Бардынин А.А., Гарбузов Д.Д.

Научный руководитель: Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АСПИРАЦИИ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

В процессе производства различных строительных материалов часто возникает необходимость в тонком помоле сырья до размеров менее 100 мкм. Измельчение осуществляется с помощью различных типов помольных машин, таких как шаровые, стержневые, валковые, роliko-маятниковые, вибрационные, молотковые и струйные мельницы. Однако, несмотря на разнообразие конструкций, наибольшее распространение в мире получили шаровые мельницы (ШМ).

Шаровые мельницы демонстрируют высокую производительность, но имеют и значительный недостаток – низкую эффективность (КПД). Исследования показывают, что КПД шаровых мельниц составляет всего 2-5%. При этом большая часть подводимой энергии (около 80%) преобразуется в теплоту, около 15% расходуется на преодоление трения в механической передаче, а лишь оставшиеся 5% используются непосредственно для измельчения материала. Кроме того, к недостаткам шаровых мельниц можно отнести высокий уровень шума и вибрации, а также значительную металлоемкость. [2].

Основные направления совершенствования техники и технологии измельчения в шаровых мельницах можно разделить на следующие направления: определение оптимальных размеров мелющих тел в зависимости измельчаемого материала, разработка новых конструкций внутренних энергообменных устройств (например, межкамерных перегородок, футеровок внутренних поверхностей барабана), подбор оптимальных рабочих параметров, совершенствование аспирационного режима. Причем последнему направлению уделено недостаточно внимания, хотя оно имеет значительный потенциал для улучшения технико-экономических показателей работы шаровых мельниц.

На начальном этапе использования шаровых мельниц аспирация применялась исключительно для предотвращения выброса пыли из загрузочной области и выполняла санитарные функции. В это время в загрузочной части создавалось минимальное разрежение, что

исключало пыление. Позднее было установлено, что количество аспирационного воздуха, проходящего через барабан мельницы, существенно влияет на эффективность измельчения и производительность оборудования.

Присутствие мельчайших частиц цемента в камере помола приводит к их прилипанию к мелющим телам и бронефутеровке мельницы, что, как известно, снижает энергию удара мелющих тел. Это может привести к переизмельчению и агломерации частиц, что подтверждается диаграммами помола. Установлено, что при толщине слоя частиц на измельчающих поверхностях около 200 мкм, из-за упругопластичных деформаций энергия удара снижается на 70%, а общая эффективность измельчения падает на 20-25%. [3]

Анализ диаграмм помола показывает, что уже в конце первой камеры мельницы содержится до 50% частиц размером менее 80 мкм и 80% частиц размером менее 20 мкм. Поэтому одной из ключевых задач аспирации является удаление мельчайших фракций цемента. Если аспирация будет остановлена вместе с находящимся в мельнице материалом, это приведет к запариванию, прилипанию измельчаемого материала к мелющим телам и футеровке, что сделает процесс измельчения крайне затруднительным. [8]

Практика эксплуатации шаровых мельниц показывает, что при увеличении влажности измельчаемой шихты с 0,4% до 2,4% удельный расход энергии на измельчение возрастает на 8 кВт·ч/т. Обычно средняя влажность шихты составляет 3-4%, что требует удаления до 3000 кг влаги в час из мельницы. Для мельницы размером 4×13,5 м это составляет 1,7 м³/с или 6120 м³/час. [7]

Скорость воздушного потока в барабане мельницы открытого цикла измельчения варьируется от 0,3 до 0,7 м/с. Отсос запыленного воздуха осуществляется через разгрузочное устройство мельницы, для чего в нем предусмотрен специальный соединительный патрубок.

С повышением температуры в мельнице резко увеличивается степень налипания и агрегирования цемента. Одним из способов снижения температуры в мельнице является увеличение расхода аспирационного воздуха. Для эффективного охлаждения многокамерных мельниц общий расход аспирационного воздуха с учетом подсосов должен составлять 0,7-1,0 м³ на 1 кг цемента. При расчете производительности вентиляторов принимают расход воздуха за 1 мин равный 3-4-кратному объему мельницы. Результаты исследований СибНИИпроектцемента также подтверждают, что оптимизация аспирационного режима – это важный резерв повышения эффективности процесса помола.

Качество цемента является одним из ключевых факторов, определяющих аспирационный режим работы мельниц. Исследования показывают, что увеличение интенсивности аспирации целесообразно лишь до определенного предела, который ограничен изменением фракционного состава, особенно содержанием фракций более 80 мкм, превышающим технологические нормы. Для обеспечения нормальной интенсивности аспирации необходимо через мельницу пропускать 1,110 м³/с воздуха на 1 Вт мощности мельницы (0,2 кг/кг цемента). [9]

Таким образом, расход воздуха в цементных мельницах должен определяться не только конструктивными параметрами самой мельницы, но и характеристиками измельчаемого материала, а также технологическими параметрами процесса. При этом важно обеспечить:

- 1) Удаление избыточной влаги и мелких частиц цемента.
- 2) Охлаждение внутреннего объема мельницы.
- 3) Транспортировка части измельченного материала вдоль мельницы.
- 4) Требуемый фракционный состав цемента.

Кроме того, концентрация пыли в воздухе производственного помещения не должна превышать 6 мг/м³, что является важным аспектом для обеспечения безопасных условий труда и соблюдения экологических норм.

Эффективность процесса измельчения в цементных мельницах, как уже указывалось, определяется физическими и физико-химическими свойствами измельчаемого материала, энергетическим режимом работы мелющей загрузки, а также гидродинамическим режимом аспирационного воздуха, который в свою очередь зависит от геометрических размеров мельницы, состава мелющих тел, живого сечения перегородок, диафрагм, числа и размеров камер, коэффициента их заполнения.

Выбор рационального аспирационного режима должен осуществляться с учетом схемы измельчения, свойств шихты, конструктивных и технологических параметров мельницы.

За годы эксплуатации шаровых мельниц их конструкция, особенно внутримельничные устройства, претерпела значительные изменения, что оказало влияние на аспирационный режим работы. В ходе модернизации в барабан устанавливались энергообменные устройства, различные конструкции межкамерных перегородок и другие элементы. Наличие таких устройств существенно влияет на аспирационный режим и должно учитываться при подборе параметров аспирационного процесса.

Однако вопрос разработки методики расчета рационального режима аспирации шаровых мельниц и совершенствования аспирационных систем остается недостаточно исследованным. Это упущение важно исправить, так как правильный подход к расчету и настройке аспирации может значительно улучшить технико-экономические показатели и повысить эффективность измельчения материала. Оптимизация аспирационных систем не только способствует улучшению качества конечного продукта, но и снижает энергозатраты, что является важным аспектом для повышения конкурентоспособности производств.

Поэтому возникает необходимость в разработке методики расчета аспирационного режима шаровых мельниц, которая позволяла бы на стадии проектирования либо модернизации установить рациональные параметры аспирации корпуса мельницы с учетом конструктивных особенностей установленных внутримельничных устройств, количества и режима движения шароматериальной загрузки, технологических требований к измельченному продукту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Донцова Ю.А., Богданов Н.Е. Механика мелющих тел в шаровых мельницах с продольным и поперечным движением мелющих тел // ЗКД. 2019. № 6. С. 15-24.
2. Герасимов М.Д. и др. Обзор конструктивных решений в области создания помольных мельниц // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. – Белгород, 2018. С. 132-146.
3. Шарапов Р.Р. Влияние на процесс измельчения в шаровых мельницах замкнутого цикла аспирационного режима / Р. Р. Шарапов // Изв. вуз. Технические науки. - 2009. - № 2. - С. 75 - 77.
4. Ястребов К.Л., Николаев М.Д. Расчет мощности, потребляемой барабанными мельницами // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. №4. С. 56-59.
5. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
6. Аспирация цементных мельниц. Промышленность строит. материалов. Серия 1. Цементная промышленность. М. 1984.
7. Богданов, В.С. Влияние аспирации цементной мельницы на эффективность ее работы / В.С. Богданов, О.И. Бажанова // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для

производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. Белгород, 2010. вып. IX- С. 40-42.

8. Бажанова О.И. Технологическая аспирация шаровых барабанных мельниц: автореферат к дисс. кандидата технических наук: 05.02.13 / Бажанова Ольга Ивановна, Белгород, 2013. - 19 с.

9. Пироцкий В.З., Богданов В.С., Севостьянов В.С. Аспирация цементных мельниц. – М.: ВНИИЭСМ, 1984.– Вып. 1 – 51с.

УДК 62-932.2

Бочарникова А.С., Zubov И.В., Запара У.И.

Научный руководитель: Фадин Ю.М. канд. техн. наук, проф.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ТРУБНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

В мире существует множество эффективных систем для измельчения. В данной статье мы рассмотрим трубную шаровую мельницу, оценим насколько эффективно она выполняет свои функции и предложим вариант по увеличению её КПД.

Трубная шаровая мельница — это тип шаровых мельниц, предназначенный для помола твёрдых материалов, таких как руды и нерудные ископаемые, стройматериалы и прочие [1, 4]. Данный аппарат в прошлом не претерпел значительных изменений. Это свидетельствует о том, что конструкция трубной шаровой мельницы находится на достаточно высоком уровне развития и в настоящее время возможны лишь точечные улучшения отдельных её элементов.

На рисунке 1 показана трубная шаровая мельница. Она представляет собой барабан, разделённый на отсеки, в котором при вращении происходит измельчение материала.

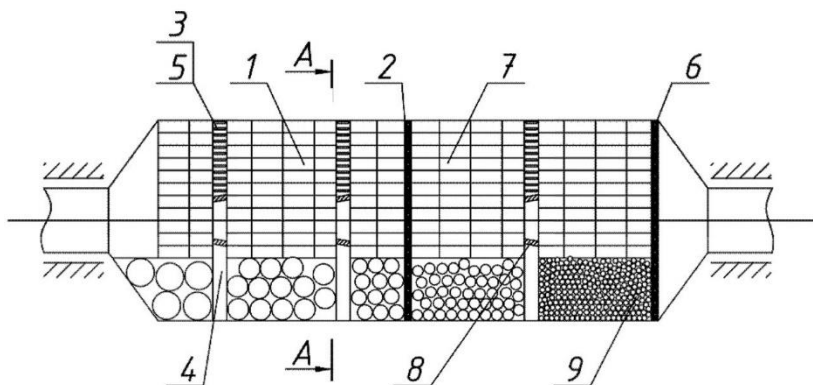


Рис. 1 Схема трубной шаровой мельницы:

- 1 - барабан; 2 - межкамерная перегородка; 3 - перфорированные полки;
4 - сплошные полки; 5 - Отверстия; 6 - выходная решётка; 7 - футеровка;
8 - конусовидное кольцо; 9 - мелющие тела

Трубная шаровая мельница включает в себя барабан 1, который разделён на две камеры — для грубого и тонкого помола — с помощью межкамерной перегородки 2. Внутри каждой камеры установлены специальные внутрикамерные перегородки, они состоят из чередующихся перфорированных 3 и сплошных 4 полок. Перфорированные полки 3 расположены перпендикулярно к горизонтальной оси мельницы, а сплошные полки 4 прикреплены к перфорированным под углом в 60 градусов. Отверстия 5 в перфорированных полках 3 становятся меньше по мере приближения к выходной решётке 6, которая находится на выходе из камеры тонкого помола. Полки 3 и 4 одним концом соединяются с футеровкой 7, а другим — привариваются к конусовидному кольцу 8. При этом больший диаметр конусовидного кольца 8 направлен в сторону выходной решётки 6. Внутрикамерные перегородки делят камеры грубого и тонкого помола на секции, в которых находятся мелющие тела 9. Их диаметр уменьшается по направлению к выходной решётке 6 [2].

Эффективность измельчения в трубной шаровой мельнице оценивается путём измерения механического КПД. Благодаря этому мы можем узнать насколько эффективно энергия, подводимая к мельнице, преобразуется в действие измельчения.

Для оценки механического КПД шаровой мельницы можно использовать различные показатели производительности: анализ

размера частиц, удельное потребление энергии или потребляемую мощность. КПД трубной шаровой мельницы составляет менее 2%.

Эта машина имеет свои достоинства и недостатки. Некоторые положительные аспекты аппарата: значительное качество перемалывания, простота структуры механизма, а также высокий порог отказа элементов и низкая стоимость по сравнению с аналогами в отрасли. К негативным сторонам агрегата можно отнести большие затраты энергии; малый КПД; вибрации, возникающие в процессе работы мельницы.

КПД шаровой мельницы можно повысить с помощью установки электромагнитов. За счёт действия магнитного поля все слои мелющих тел будут прижиматься друг к другу, при этом возрастёт высота падения. При установке оптимальных углов срабатывания электромагнитов можно добиться дополнительного сокращения энергетических затрат.

На рисунке 2 представлена электромагнитная шаровая мельница.

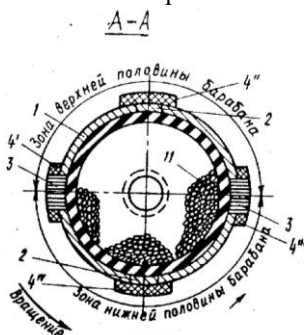


Рис. 2 Схема электромагнитной шаровой мельницы:

- 1 – барабан; 2 – отверстия барабана; 3 – сердечники электромагнитов;
- 4 – электромагниты; 11 – ферромагнитные шары.

Электромагнитная шаровая мельница оснащена вращающимся барабаном 1, внутренняя поверхность которого защищена резиной или броней. В барабане 1 в шахматном порядке расположены отверстия 2, в которых закреплены сердечники 3 электромагнитов 4. Эти электромагниты расположены в рядах, установленных вдоль образующей цилиндра барабана 1. Элементами конструкции являются устройства для загрузки 5 и выгрузки 6 материалов. Контроль над электромагнитами происходит через узел коммутации 7 с скользящими электроконтактами. Ток подается в электромагниты 4 через щетки 8 по команде с пульта управления 9, который связан с барабаном 1 по

кулачку 10. Для измельчения материалов в барабане используются ферромагнитные шары 11 [3].

На рисунке 3 изображена схема коммутации одного из рядов электромагнитов.

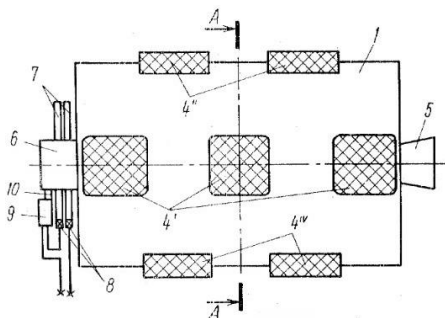


Рис. 3 Схема коммутации одного из рядов электромагнитов:

5 – средства загрузки; 6 – средства выгрузки; 7 - скользящие электроконтакты;
8 – щётки; 9 - пульт управления; 10 – кулачок.

Скорость шаров будет возрастать быстрее, чем у кусков руды – это улучшит их перемещение и увеличит энергию удара шаров при падении. Вследствие этого повышается эффективность измельчения.

Особенностью конструкции является шарошиповая футеровка, она создаётся потому, что на неё воздействуют магнитные поля, образуемые электромагнитами. Из-за этого шары становятся лифтерами внутримельничной загрузки. Этот эффект достигается за счет расположения электромагнитов крест-накрест, что на много повышает эффективность работы устройства [3].

Подводя итог вышесказанному можно сделать вывод о том, что трубная шаровая мельница имеет высокую эффективность измельчения; её можно повысить как применив максимально плотную шаровую загрузку, так и снизив энергетические затраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зленко Ю.И., Куц Е.В. Пылеудаление трубной мельницы // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 4(121). URL: <https://7universum.com> (Дата обращения 5.5.25)
2. Фадин Ю.М., Ромашова Е.А., Юдин К.А., Лазько Е.В., Тимашев М.В., Трубная шаровая мельница // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». URL: <https://yandex.ru> Дата изд. 2020.09.24.

3. Муйземнек Ю.А., Борисков Ф.Ф., Елисеев Н.И., Чантурия В.А. Электромагнитная шаровая мельница // URL: <https://yandex.ru>. Дата изд. 1991.11.30.

4. Богданов В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 551 с.

УДК 621.926

Гарбузов Д.Д., Бардынин А.А.

Научный руководитель: Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК

Дробление сырья, используемого при производстве строительных материалов различного назначения, является важнейшей технологической операцией, от которой зависят потребительские качества продукта дробления, такие как гранулометрический состав, крупность частиц и т.д. Широкое разнообразие строительных материалов и требований к их характеристикам формирует потребность в измельчителях (дробилках) различных конструкций, позволяющих обеспечить технологические требования. В структуре энергопотребления промышленных предприятий, в частности обогатительных фабрик и щебеночных заводов, операции дробления и измельчения занимают доминирующее положение, потребляя более 50-60 % общих энергоресурсов и до 90 % электроэнергии соответственно [1]. Таким образом, при выборе измельчителя необходимо руководствоваться не только требуемыми свойствами продукта, но и энергоэффективностью процесса дробления в контексте обеспечения требуемого качества с минимальными энергозатратами. Также необходимо учитывать массогабаритные характеристики оборудования, долговечность, простоту обслуживания и замены рабочих органов. В настоящее время широкое распространение получили молотковые дробилки. Рассмотрим их некоторые преимущества по сравнению с измельчителями других типов.

Механизм действия молотковой дробилки заключается в ударном разрушении материала вращающимися молотками ротора. Это

воздействие формирует критические внутренние напряжения, вызывающие разрушение кусков материала и перемещение образованных фрагментов определенных размеров через отверстия колосниковой решетки [2,3].

Промышленными предприятиями РФ выпускается широкий типоразмерный ряд молотковых дробилок с различными параметрами. Так, предприятием «ТяжМаш» производятся молотковые дробилки с широким диапазоном производительности, которая в зависимости от модели составляет от 80 до 500 т/ч, при этом крупность получаемого материала не превышает 3 мм для всего модельного ряда. Допустимая влажность дробимого материала (дробилки используются преимущественно для измельчения известняка) варьируется от 4 до 12%. Мощность электродвигателей дробилок составляет 200–630 кВт. Согласно сведениям производителя, потребляемая мощность, масса и размеры молотковой дробилки на единицу производительности в 2–5 раз меньше, чем у конусных и щековых дробилок. Кроме того, при использовании молотковых дробилок повышается селективность раскрытия минеральных зёрен, измельченный материал характеризуется низким диапазоном дисперсности [4].

Предприятием «Барнаулэнергомаш» производится линейка молотковых дробилок, обеспечивающих производительность от 18 до 1200 т/ч, при этом крупность кусков подаваемого материала варьируется от 100 до 600 мм [5]. Флагманская модель серии – дробилка СМД-98Б (М20×30Г) обеспечивает наиболее высокую производительность в 1200 т/ч при максимальной крупности дробления в 20 мм и максимальном размере загружаемой фракции в 600 мм (Рис. 1).

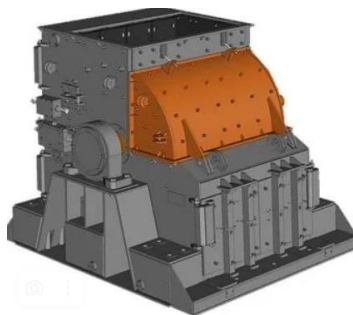


Рис. 1 Цифровая модель молотковой дробилки СМД-98Б (М20×30Г) [5]

Авторами работы [6] приводятся сравнительные данные по

параметрам сырья, готового продукта и производительности дробилок различной конструкции. Согласно приведённым данным, молотковая дробилка может обеспечить размер частиц дробленого материала до 13–45 мм, что несколько выше, чем в случае с данными, приводимыми предприятием «ТяжМаш» для выпускаемого оборудования. При этом крупность питания молотковых дробилок может варьироваться от 100 до 300 мм, что является средним показателем среди дробилок различного действия. Это позволяет работать с широким диапазоном свойств материалов.

Данные сравнения рабочих параметров дробилок различной конструкции представлены ниже (Табл. 1) [6].

Таблица 1 – Характеристики дробилок различных конструкций

Тип дробилки	Крупность питания, мм	Крупность продукта, мм	Производительность, т/ч.
Щековая среднего дробления	До 400	60-125	20-65
Щековая крупного дробления	650-1100	100-300	300-500
Конусная мелкого дробления	30-350	10-55	13-250
Конусная среднего дробления	300-800	100-170	100-500
Конусная крупного дробления	До 1300	350	2000-3000
Валковая с гладкими валками	40-75	2-14	10-85
Валковая с зубчатыми валками	До 1200	2-14	До 700
Молотковая	100-300	13-45	6-200
Роторная	До 600	23-183	150-500

Производительность молотковых дробилок, согласно таблице 1, составляет от 6 до 200 т/ч, что также несколько отличается от предоставляемых предприятием «ТяжМаш» данных, согласно которым наиболее производительные дробилки могут осуществлять дробление

до 500 тонн материала в час.

Компания MMD SIZERS [7], занимающая лидирующие позиции на мировом рынке как производитель дробильных агрегатов широкой номенклатуры (изначально создана в 1978 году для разработки оборудования обработки минералов в угольных шахтах), предоставляет сравнительную иллюстрацию (Рис. 2), которая даёт представление о различиях в габаритах дробильных машин различных типов при эквивалентной производительности.

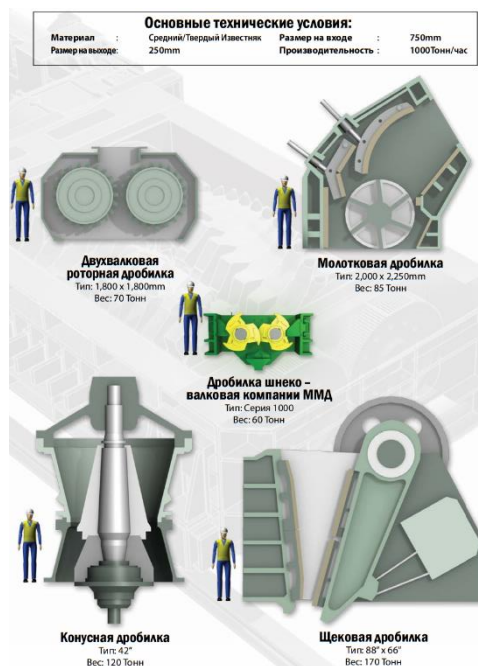


Рис. 2 Сравнительные габариты дробилок различных типов [7]

Таким образом, сравнение габаритных размеров дробилок в масштабном соотношении позволяет сделать выводы о том, что при сравнимой производительности молотковая дробилка имеет размеры, сравнимые с конусной, обладая при этом значительно меньшей массой (85 тонн и 120 тонн), уступая по массогабаритным показателям лишь роторной двухвальцовой дробилке, которая также является представителем ударного измельчителя.

Согласно работе [8], дробилки ударного действия обладают значительно большим разрушающим воздействием по сравнению с

дробилками с преимущественно истирающим и раскалывающим принципом. Автор отмечает высокую степень дробления молотковых дробилок ($i = 30\text{--}40$), а также низкую массу в сравнении со щековыми и конусными дробилками (до 2–3 раз). В качестве недостатков приведено интенсивное изнашивание рабочих органов.

По результатам проведённого анализа выявлено, что молотковые дробилки применимы к широкому спектру материалов ввиду высокой степени дробления, имеют низкие массогабаритные показатели при сравнимой производительности, а также высокую производительностью, уступая лишь валковым и конусным дробилкам. Данные факторы делают молотковые измельчители перспективным типом дробилок, который может использоваться в широком диапазоне применений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ельников, С. П. Определение удельных энергозатрат при дроблении «в слое» в конусных дробилках с учётом закономерностей разрушения частиц: специальность 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых»: Автореферат на соискание кандидата технических наук / Ельников, С. П. ; Уральский государственный горный университет. — Екатеринбург, 2021. — 21 с.

2. Лукиенко Л. В. Молотковые дробилки как дезинтегрирующие устройства в технологии рециклинга строительных материалов / Л. В. Лукиенко, М. Н. Каменский // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2020. – № 8. – С. 19-21.

3. Бурлуцкая А. Г. Конструктивные элементы молотка в молотковых дробилках для измельчения керамзита / А. Г. Бурлуцкая, И. А. Новиков // Машины, агрегаты и процессы в строительной индустрии. Сборник докладов национальной конференции. Белгород, 2021. С. 34-37.

4. Дробилки молотковые реверсивные ДМР / [Электронный ресурс] // Тяжмаш: [сайт]. — URL: <https://www.tyazhmash.com> (дата обращения: 08.05.2025).

5. Молотковые дробилки / [Электронный ресурс] // БАРНАУЛЭНЕРГОМАШ: [сайт]. — URL: <https://bemz.pro> (дата обращения: 10.05.2025).

6. Пономарев В. Б. Щековые и конусные дробилки: методические указания по курсовому проектированию / В. Б. Пономарев, А. Б. Лошкарёв — Екатеринбург: Издательство ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2008. — 71 с.

7. Mineral sizers / [Электронный ресурс] // Sizers - MMD: [сайт]. — URL: <https://www.mmmsizers.com> (дата обращения: 10.05.2025).

8. Заводяный, А. В. Машины и агрегаты для подготовки шихтовых материалов: учебник для вузов / А. В. Заводяный, А. В. Нефедов, Н. А. Чиченев, И. А. Шур. – Орск: Издательство ОГТИ, 2013. – 157с.

УДК 666.94

Карачевцева А.В., Пушкарёв А.И.

Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, доц.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНЖЕНЕРНОМУ АНАЛИЗУ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Современные подходы к инженерному анализу вращающихся печей включают комплексное использование численного моделирования, экспериментальных исследований и цифровых технологий.

Современное моделирование инженерного анализа вращающихся печей опирается на комплексные численные методы, включая CFD (Computational Fluid Dynamics), FEM (Finite Element Method) и DEM (Discrete Element Method). Эти подходы позволяют анализировать тепломассообмен, механические напряжения, износ и химические процессы в печах.

Рассмотрим ключевые подходы:

1. CFD (Computational Fluid Dynamics) (Вычислительная гидродинамика) – это моделирование процессов газодинамики, горения, теплообмена и химических реакций в печи (Рис.1).

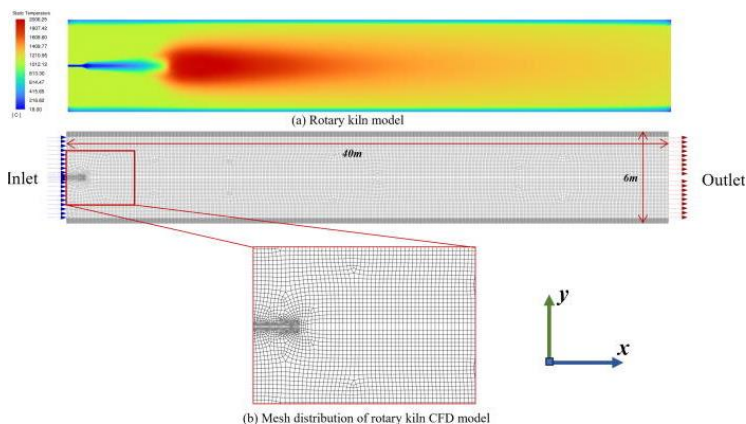


Рис. 1 CFD-модель вращающейся печи [1]

Традиционные вычислительные гидродинамические системы (CFD) требуют больших вычислительных затрат и не могут обеспечить производительность в режиме реального времени на промышленных объектах [1].

CFD-программы, которые используются для моделирования:

- ANSYS Fluent – подходит для моделирования течения газов, теплопередачи и горения, на приме, моделей для вращающихся зон (Rotating Reference Frame, Sliding Mesh), можно учитывать химические реакции (например, обжиг известняка), в данной программе поддерживается DEM для моделирования движения сыпучего материала;
- ANSYS CFX – альтернатива Fluent, лучше справляется с вращающимися системами, хорошо подходит для задач с высокой турбулентностью;
- COMSOL Multiphysics – позволяет совмещать CFD с другими физическими процессами (электродинамика, структурные нагрузки);
- STAR-CCM + (Siemens) – интегрированная платформа, предназначенная для CFD + DEM, оптимизированная для промышленных задач, включая вращающиеся печи.

В CFD программах можно выполнить расчет распределения температурного поля при различных условиях эксплуатации, например, вращающейся печи (Рис.2).

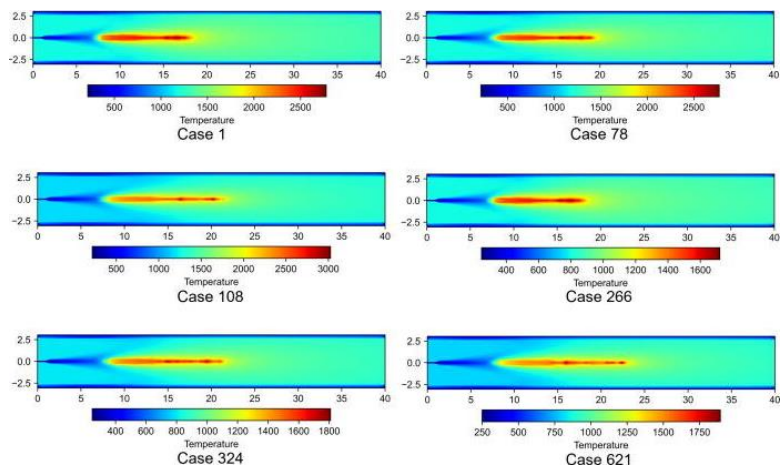


Рис. 2 Характеристики распределения температурного поля случайно генерируемой вращающейся печи при различных условиях эксплуатации [1]

2. FEM (Finite Element Method) (Метод конечных элементов) – это расчет напряжений, деформаций и термоупругости металлоконструкций. Позволяет моделировать сложные системы, разбивая их на конечные элементы [2] и решая соответствующие уравнения. Например, может использоваться для расчета оценки деформации корпуса печи при нагреве.

Например, в статье [3] основная цель работы, состоит в том, чтобы предложить алгоритм анализа износа долговечности корпуса печи с использованием метода конечных элементов FEM (Рис.3).

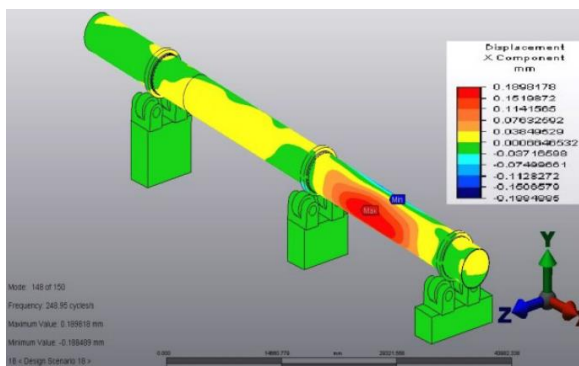


Рис. 3. Место износа вращающейся цементной печи с использованием метода конечных элементов [3]

Применение метода конечных элементов [4,5] включает в себя:

- расчет конструкций на прочность [6] под действием статических нагрузок;
- модальный анализ — расчет частот собственных колебаний, анализ вибраций;
- расчет на прочность от воздействия циклических нагрузок (количество циклов до разрушения);
- тепловой анализ, установление теплового потока, градиента температур;
- гидродинамика, решение задач механики жидкости.

FEM-программы, которые используются:

- ANSYS Mechanical — высокая точность, интеграция с ANSYS Fluent (CFD+FEM), поддержка нелинейных материалов, но требует высоко производительные компьютеры. Позволяет делать расчёт прочности, термоупругости, ползучести, контактных задач;
- COMSOL Multiphysics — это мощная мультифизическая платформа для численного моделирования. Она позволяет решать сложные инженерные и научные задачи, учитывая взаимодействие нескольких физических явлений (механика, теплообмен, электромагнетизм, химия и др.) в одной модели;
- Abaqus (Dassault Systèmes) — сложные нелинейные задачи (пластичность, гиперупругость, термомеханика).

Применяются FEM-программы при прочностных расчетах (мостов, зданий, деталей машин), при тепловых и электромагнитных процессах, при анализе аварийных ситуаций (удары, взрывы).

3. DEM (Discrete Element Method) (метод дискретных элементов)

– моделирование движения сыпучих материалов (например, сырьевой смеси в цементной печи).

Применение метода DEM (Discrete Element Method) включает в себя:

- моделирование грунтов, моделирование процессов обогащения полезных ископаемых;
- моделирование обрушения зданий;
- моделирование процессов загрузки и течения.

DEM – программы, которые используются для моделирования:

- EDEM (Altair) – лидер рынка, удобный интерфейс, интеграция с CAD/CAE. Широко используется в промышленности, имеет высокие возможности моделирования, включая различные формы частиц, модели когезии, теплопередачу и жидкости.

- Rocky DEM (ANSYS) – программа для сложных задач, включая износ и дробление. Известна своей высокой производительностью и способностью моделировать очень большие системы частиц. Имеет продвинутые модели разрушения частиц и гибких волокон.

Например, в статье [7] показаны (Рис. 4) снимки контуров температуры частиц во вращающейся печи в конфигурациях без перегородки, с холодной и с горячей перегородкой, по отдельности, которые можно осуществить в программах для DEM.

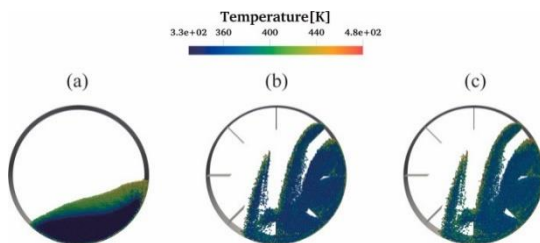


Рис. 4. Снимки контуров температуры частиц во вращающейся печи при условиях (а) отсутствия перегородки, (б) холодной перегородки и (с) горячей перегородки [7]

Современный инженерный анализ вращающихся печей требует комплексного подхода, сочетающего CFD, FEM, DEM. Использование для расчета основных разделов CFD, FEM, DEM численного моделирования позволяет повысить надежность, энергоэффективность и срок службы оборудования. Использование современных программных решений и интеграция различных методов моделирования открывают новые возможности для оптимизации промышленных процессов. Большую роль численное моделирование

играет в инженерном анализе и в совершенствовании технологий производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Xu. Two-dimensional temperature field prediction of rotary kiln based on graph neural networks / Xu, Guo Yue, Wang Feng, Liu Yao, Zhang & Zhengjian, Jianliang // *Physics of Fluids*. – 2025. 37(2). DOI: 10.1063/5.0251395
2. Торо Л.А. Метод конечных элементов (мкэ): применение к механике сплошной среды и теплопередаче / Л.А.Торо, К.А. Кардона, Ю.А. Писаренко, А.В. Фролкова. Тонкие химические технологии. – 2018. – 13(4). – С. 17-25. doi: 10.32362/2410-6593-2018-13-4-17-25
3. Basri. Vibration analysis of rotary cement kiln using finite element method / Basri, Yani Hasan, Prakoso Irsyadi, Akbar // *Matec Web of Conferences*. – 2017. – 101(2). – P. 3013. doi: 10.1051/mateconf/201710103013
4. Игнатьев А. В. Основные формулировки метода конечных элементов в задачах строительной механики / А. В. Игнатьев, Часть 2 // *Вестник МГСУ*. – 2014. – №12. (Ignat'ev A. V. Mixed Form of Finite Element Method in Problems of Structural Mechanics/ V.A. Ignat'ev, A.V. Ignat'ev, A.V. Zhidelev // *Volgograd, VolgGASU Publ*. – 2006. – 172 p).
5. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. – М.: Мир. – 1977. – 350 с.
6. Ельцов М.Ю., Хахалев П.А. Основы расчета изделия на прочность в приложении NX Расширенная симуляция. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 207 с.
7. Fenglei Qi. Revealing baffle-enhanced heat transfer mechanism in an indirectly heated rotary kiln by discrete element method modeling / Qi Fenglei, Zhang Chao, Cai Hao, Lin Zishuo, Diao Rui, Liu Xiaohao, Yan Dongxu, Jiang Long-jin, Ma Peiyong // *Applied Thermal Engineering*. – Volume 266. – 2025. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.125452

АСПИРАЦИЯ ВОЗДУХА В ПРОЦЕССАХ ПОСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Проблема пылеобразования в технологических процессах измельчения материалов остаётся актуальной для множества отраслей промышленности, включая химическую, строительную, сельскохозяйственную и перерабатывающую. При этом наибольшую сложность представляет организация эффективного удаления пыли непосредственно в местах её образования. Особенно остро вопрос стоит в закрытых производственных помещениях, где накопление пылевоздушной смеси может представлять опасность для здоровья работников и создавать взрывоопасную среду [1, 2].

При проектировании технологических линий измельчения следует учитывать необходимость аспирации как ключевого элемента обеспечения санитарно-гигиенических условий труда. Современные подходы к аспирации предполагают локализацию источников загрязнения, оптимизацию потоков воздуха и фильтрацию на высокоэффективных устройствах.

В данной статье рассматриваются возможные способы организации аспирации воздуха в технологическом модуле, описанном в патенте РФ № 2834371 [3]. Патент представляет собой инновационную разработку, в которой предусмотрен аспирационный патрубок, но не описана полная система аспирации. Это открывает возможность для анализа и проектирования эффективных решений по аспирации на базе уже предложенной конструкции.

Процессы измельчения сопровождаются механическим разрушением материала, в результате чего образуются мелкодисперсные частицы и пыль. Величина и дисперсность пыли зависят от типа материала, режима работы и конструкции оборудования [4].

Аспирация решает задачи локализации источников пылеобразования, улавливания и отвода загрязнённого воздуха, фильтрации и очистки воздушной среды. Ключевые элементы системы аспирации: укрытия, воздухозаборные устройства, трубопроводы, фильтры, вентиляторы и системы автоматического регулирования.

Поскольку пыль является аэрозолем, обладающим свойствами высокой летучести и способностью проникать в мельчайшие щели, необходимы герметичные укрытия, а также точно рассчитанные параметры воздушного потока, создаваемого вентиляторами. Правильное проектирование аспирационной системы позволяет значительно снизить уровень запылённости воздуха и обеспечить безопасность технологического процесса.

В патенте описывается технологический модуль с последовательной организацией стадий грубого, среднего и тонкого измельчения. В конструкции предусмотрены герметичные загрузочно-разгрузочные узлы, транспортные элементы, а также аспирационный патрубок, что свидетельствует о необходимости удаления пыли. Однако полноценная система аспирации в данном решении не реализована и требует дальнейшей проработки вопроса.

Каждая стадия измельчения требует индивидуальных параметров аспирации. Давление внутри укрытия должно быть ниже атмосферного, что обеспечит направленный поток воздуха внутрь устройства и предотвратит выброс пыли наружу. Реализация решений, позволяющих поддерживать отрицательное давление в зоне измельчения за счёт регулируемого отсоса воздуха, исключит возможность вторичного загрязнения рабочей зоны.

На основе конструктивных особенностей модуля, описанного в патенте, можно предложить следующие варианты аспирации [4, 5]:

- *Местная аспирация на каждой стадии.* Установка укрытий над зонами измельчения и разгрузки с локальным отсосом воздуха позволит точно устранять пыль. Воздух забирается через щелевые или точечные всасывающие патрубки, соединённые с фильтрами и вентиляторами. Это наиболее эффективный способ, позволяющий минимизировать распространение загрязнений.

- *Централизованная аспирационная система.* Все пылевые точки подключаются к общей аспирационной магистрали, ведущей к единому фильтрующему модулю. Такой подход наиболее оптимальный для рассматриваемой конструкции модуля, так как он не требует дополнительных затрат на местные укрытия, за счет чего и снижается стоимость оборудования [1].

- *Комбинированный подход.* Наиболее загрязнённые участки оснащаются индивидуальными укрытиями, тогда как вспомогательные зоны подключаются к общей системе. Это наилучшее решение с точки зрения эффективности, позволяющее локализовать пыль на каждом этапе. Каждая стадия оснащается индивидуальной системой аспирации, что даст возможность точно настраивать параметры отвода пыли с

учётом характеристик перерабатываемого материала и особенностей процесса. В отличие от традиционных систем аспирации, где весь процесс охватывается одной централизованной установкой, комбинированный подход, обеспечивает более гибкое и эффективное удаление пыли, позволяет адаптировать систему под различные виды материалов и снижает эксплуатационные затраты.

Практические преимущества реализации и возможности внедрения системы аспирации включают в себя: соответствие общим санитарно-гигиеническим требованиям к воздуху рабочей зоны [2], снижение энергонагрузки, повышение эффективности фильтрации, уменьшение затрат на обслуживание, экологическая безопасность.

Внедрение подобных решений особенно актуально на предприятиях, занимающихся переработкой органических и минеральных отходов, в агропромышленном комплексе, на линиях вторичной переработки, а также в строительной промышленности. В условиях ужесточения требований к охране труда и промышленной безопасности системы аспирации становятся неотъемлемой частью устойчивого и безопасного производства.

Проведённый анализ показывает, что реализация системы аспирации, будет способствовать значительному снижению уровня загрязнения воздуха в производственных помещениях, улучшению условий труда и соблюдению санитарных норм. Предложенные подходы позволяют адаптировать технологический модуль под конкретные условия эксплуатации.

Таким образом, аспирационные системы являются неотъемлемой частью современной технологии измельчения, а их дальнейшая проработка и внедрение существенно повысит экологичность и безопасность работы измельчительных устройств.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0002 «Разработка, исследования и опытно-промышленная апробация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов» с использованием лабораторного оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвиненко В.С. Аэродинамика вентиляционных систем. - М.: Машиностроение, 2020. - 198 с.

2. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

3. Пат. №2834371 РФ, МПК В02С 18/00. Технологический модуль постадийного измельчения органических и минеральных материалов / В.С. Севостьянов, Н.Т. Шеин, М.В. Севостьянов [и др.] // - № 2024120112; заявл. 17.07.2024; опубл. 06.02.2025, Бюл. №4. - 13 с.

4. Климов Н.Н., Сафонов Д.В. Инженерные системы очистки воздуха на производстве. - М.: Техносфера, 2021. - 280 с.

5. Васильев С.М. Основы проектирования аспирационных установок. - Екатеринбург: УрФУ, 2022. - 240 с.

6. Севостьянов В.С. Ресурсосберегающая технология комплексной переработки техногенных полимерных материалов и технические средства для её реализации / В.С. Севостьянов, Н.Т. Шеин, В.В. Оболонский [и др.] // СТИН. - 2024. - № 9. - С. 27-30.

7. Севостьянов М.В. Технологические комплексы и агрегаты для утилизации техногенных материалов различных отраслей промышленности / М.В. Севостьянов, А.М. Проценко // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. - С. 1062-1066.

УДК 622.6

Литвин Д.В., Шмыгов Е.С., Парфенов В.А.

Научный руководитель: Дмитриенко В.Г. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬЮ 220 ТОНН

В связи с углублениями и расширениями карьеров (Ковдорский, Лебединский, Стойленский, Михайловский ГОКи, Группа ММК (Магнитогорский металлургический комбинат), «Норильский никель», «Алроса», ПАО «Полюс Золото», ОАО «Карельский окатыш»), угольных разрезов (Хакасии, Забайкалья и Хабаровского края), и увеличением их производственной мощности в последние десятилетия идет активное внедрение в производство автосамосвалов с

грузоподъемностью от 100 до 220 тонн Caterpillar, Komatsu, Hitachi (таблица1) [1,2,3,4].

Таблица 1 Технические характеристики карьерных самосвалов Caterpillar -793D, Komatsu HD830E и Hitachi EH4000AC-3

Марка КС Параметр	Caterpillar - 793D	Komatsu HD830E	Hitachi EH4000AC-3
Грузоподъемность, т	219	220	221
Объём кузова, м ³	129	119	116
Габарит ширина, мм	7400	7660	6050
Габаритная длина, мм	12880	14900	14290
Габаритная высота, мм	6430	6850	6310
Мощность двигателя, л.с.	78	80	75
Скорость движения макс, км/ч	54	64	56
Снаряженная масса машины, кг	383740	385848	387700
Вместимость топливного бака, л	4137	4308	4000
Двигатель (модель)	CAT356	CAD16V160	QSK 60-CE

Введенные ограничения компаниями США, Германии и Японии по поставке карьерных машин и запасных частей к ним привело к выводу автосамосвалов этих производителей из состава парка машин горнодобывающих компаний России после выработки их ресурса. Разработка отечественных самосвалов является трудоемкой и финансово затратной задачей. Поэтому с целью выработки концепции организации поставки машин из дружественных стран (республик: Беларусь и Китая) рассмотрим конструктивные особенности и

технические характеристики карьерных машин грузоподъемностью 220 тонн - БЕЛАЗ-75306 и Estar ESDE240.

Автосамосвал БелАЗ-75306 (рис. 1) – это карьерный самосвал грузоподъемностью 220 тонн для транспортировки горной породы в тяжелых условиях глубоких карьеров и на открытых разработках с широким диапазоном температур (от -50 до +50 °С), эффективно эксплуатирующийся с экскаваторами и погрузчиками с объемом ковшей от 30 до 45 м³ (табл. 2).



Рис. 1 Автосамосвал БелАЗ-75306

Особенностью БелАЗ-75306 является высокая манёвренность за счет короткой колесной базы, плавность хода и устойчивость от бокового крена за счет пневмогидравлической подвески со встроенным гидравлическим амортизатором, безопасное управление самосвалом в аварийной ситуации за счет гидрообъемного рулевого управления с пневматическими аккумуляторами, сокращенное количество гидроузлов в приводе за счет объединенной гидросистемы рулевого управления тормозов и опрокидывающего механизма [5].

Анализ эксплуатации автосамосвала в производственных условиях выявил некомфортное управление по скользким дорогам, участие в торможении только задней колесной базы, что усложняет контроль над машиной на спусках в непогоду.

Автосамосвал Estar ESDE240 (рис. 2) — это карьерный самосвал с электромеханической трансмиссией и двумя мостами, колесной формулой 4×2, грузоподъемностью 230 т, геометрической емкостью кузова 118 м³, оснащённый мощным двигателем объемом 60л (таблица 2), обеспечивающим высокую производительность в самых экстремальных условиях эксплуатации [6].



Рис. 2 Самосвал ESDE240

Ключевыми особенностями этой модели являются её интеллектуальная система управления, которая контролирует ключевые режимы и параметры машины, состояние узлов и агрегатов, выявляет потенциальные проблемы и поломки, колесная база исключает пробуксовку и обеспечивает надежное сцепление с поверхностью, различной категории (рыхлый грунт или твёрдая скальная порода).

Таблица 2 Технические характеристики карьерных самосвалов

Марка КС Параметр	БЕЛАЗ-75306	ESDE240
Двигатель	Cummins QSK60-C	Дизельный V-16
Расположение цилиндров	V-образное	V-образное
Мощность, кВт	1715	1720
Объем кузова: шапкой, м ³	122	148
Грузоподъемность, т	220	230
Топливный бак, л	2900	4500
Коробка передач	Механическая	Автоматическая
Максимальная скорость, км/ч	43	64,5

Масса (без/с дополнительным оборудованием), т	156,1/ 376,1	172/402
Расход топлива, л	30	35

Анализируя технические характеристики автосамосвалов БЕЛАЗ-75306 и Estar ESDE240, можно сказать, что по некоторым показателям автосамосвал китайского производителя превосходит белорусского, а именно вместимость кузова превышает на 21%, объём топливного бака на 55%, максимальная скорость на 32,8%, масса с дополнительным и без дополнительного оборудования на 7,5% при сравнительно одинаковой мощности двигателя. Несмотря на превышающие показатели китайского самосвала он является лидером по расходу топлива на 16,7%.

Изучение технических параметров и конструктивных решений представленных карьерных самосвалов позволяет сделать вывод, что любая из этих машин потенциально пригодна для эксплуатации в разнообразных горно-геологических условиях российских предприятий, занимающихся открытой разработкой месторождений. Однако, определяющим фактором при выборе становится стоимость приобретения самосвала, расходы на его техническое обслуживание, обеспечение надежной работы, ремонтпригодность и эргономические свойства, влияющие на работоспособность водителя.

Дальнейшая работа будет состоять во взаимодействии с предприятиями, эксплуатирующими выше рассмотренные автосамосвалы с целью анализа их работы в производственных условиях на предмет отказа его работы и выхода из строя (повышенный износ) его узлов и разработки предложений по устранению недостатков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В. Г. Дмитриенко, Е. Г. Шеметов, Н. Н. Андроник, Н. Г. Ратушный // Обзор конструкций карьерных самосвалов грузоподъемностью до 100 тонн Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов : Межвузовский сборник статей, Белгород, 01–30 декабря 2020 года. Том Выпуск XIX. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 109-116. – EDN MHEAIIH.

2. Сайт. – URL: <https://karelskyokatysh.severstal.com> – Дата публикации: 20.04.2017.

3. Сайт. – URL: <https://sgok.nlmk.com/> - Дата публикации: 27.06.2019.

4. Сайт. – URL: <https://mmk.ru/ru/> - Дата публикации: 18.09.2020.

5. Сайт. – URL: <https://www.komatsu.ru> – Дата публикации: 14.08.2019.

УДК 62-97/-98

Обернихин А.А., Хруслов Д.А.

Научный руководитель: Фадин Ю.М. канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Конусная дробилка (рис. 1) – это оборудование, предназначенное для измельчения твёрдых пород путём их раздавливания между двумя коническими поверхностями [1].

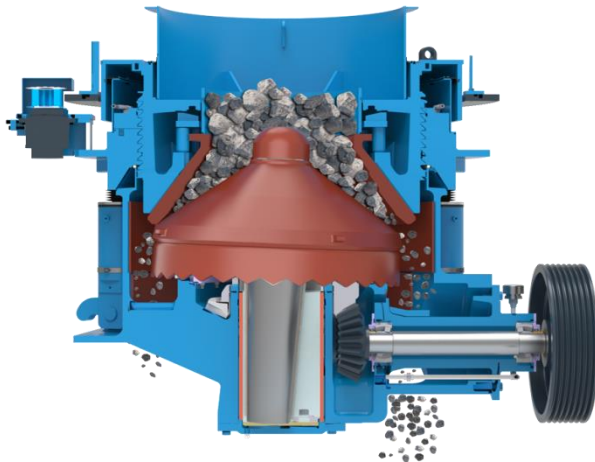


Рис. 1 Конусная дробилка

Такое оборудование находит широкое применение в металлургической, строительной, дорожной отраслях, а также в химической и силикатной промышленности для переработки сырья

(рис. 2). Разнообразие принципов дробления и требуемого размера конечного продукта обуславливает широкий спектр доступных моделей [3].

В ходе эксплуатации конусной дробилки, приводной двигатель через редуктор передает вращательное движение эксцентриковой втулке. Под действием этой втулки подвижный конус совершает вращательные и качательные движения. Область, прилегающая к неподвижному конусу, формирует полость для дробления, где материал подвергается многократному сдавливанию и ударам, вызванным взаимодействием движущегося и стационарного конусов. По достижении необходимого размера частиц, измельченный материал выпадает под действием силы тяжести и выгружается из нижней части дробилки. Конусные дробилки могут применяться в любой из стадий дробления благодаря их универсальности при дроблении горных пород различной твёрдости. Рабочая зона машины, состоит из двух основных конусов: подвижный и неподвижный. Сужение рабочей зоны происходит благодаря приближению подвижного конуса к неподвижному [6]. Измельчённый материал, под действием силы тяжести, падает в разгрузочное отверстие. Загрузочный бункер, в который служит основным источником подачи материала в машину от ленточного конвейера, выполнен в виде конуса, для наилучшей подачи материала в машину. Для максимальной производительности, рекомендуется осуществлять подачу материала непрерывно [2].



Рис. 2 Конусная дробилка в промышленности

Конусная дробилка по своим параметрам очень схожа с щёковой дробилкой. Именно поэтому, данные машины могут взаимозаменяться в технологической схеме. У конусной и у щёковой дробилки могут быть

одинаковыми параметрами зона параллельности (D_K), угол захвата (α), минимальная ширина выходной щели (e) (рис. 3) [4]. Расчёт двух дробилок аналитическим методом, позволяет найти некоторые схожести в них, но методика работы двух машин – разная. Для упрощения расчётов допустимо принять $D_{CP} = D_K$, $r = e$, $\alpha = \beta_1 + \beta_2$, где $\beta_1 > \beta_2$ [3, 4].

1. Определение объёма материала, выходящего из дробилки за один оборот вала в Дробящем конусе, по формуле (4):

$$V = \frac{D_K^3 (\tan \beta_1 + \tan \beta_2)}{6} = \frac{D_K^3}{6} \tan \beta_1 + \tan \beta_2, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где D_K – нижний диаметр дробящего конуса, м; e – минимальный размер выходной щели, м; β_1 – угол наклона образующей внутреннего конуса, град; β_2 – угол наклона образующей наружного конуса, град.

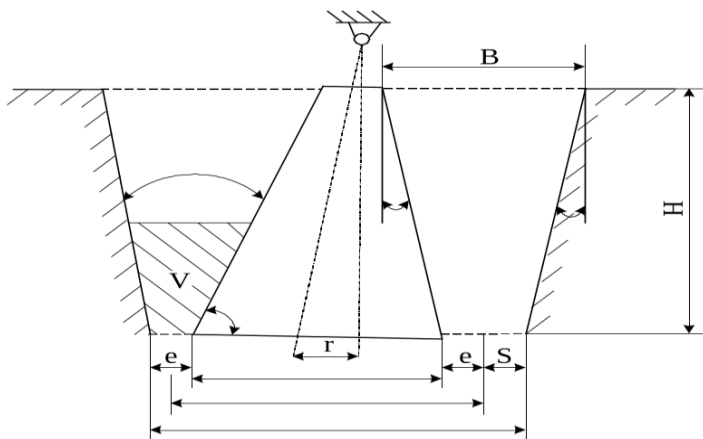


Рис. 3 Схема к расчету конусной дробилки

2. Определение числа оборотов вала дробилки [5]:

– для конусных дробилок крупного дробления расчет идет согласно формуле (2):

$$n \approx 0,71 \sqrt{\frac{\tan \beta_1 + \tan \beta_2}{r}} \approx 0,71 \sqrt{\frac{\tan \beta_1 + \tan \beta_2}{e}}, \text{ с}^{-1} \quad (2)$$

– для конусных дробилок среднего и мелкого дробления по формуле (3):

$$n = 7,5 \sqrt{\frac{\sin \varphi - f \times \cos \varphi}{D_k}}, \text{ с}^{-1} \quad (3)$$

где φ – угол между образующей дробящего конуса и основанием, град; f – коэффициент трения материала о футеровку конусов, $f = 0,3 \dots 0,35$.

3. Определение объёмной и массовой производительностей следует определять по формуле (4) [5]:

$$= 14400 k_p \times n \times \pi \times \frac{D_K \times e^2}{tg\beta_1 + tg\beta_2}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4)$$

$$П_M = П_V \times \rho_{нас}, \text{ кг/ч} \quad (5)$$

где $\rho_{нас}$ – насыпная плотность материала, кг/м^3 ; k_p – коэффициент разрыхления материала, $k_p = 0,3 \dots 0,4$ – для прочного материала, $k_p = 0,41 \dots 0,65$ – для непрочного материала.

4. Определение усилия дробления (рис. 4) возможно определить согласно (6) [5]:

$$P = 46 S_1 \times 10^4, \text{ Н} \quad (6)$$

где S_1 – поверхность дробящего конуса, м^2 , которую возможно определить согласно (7),

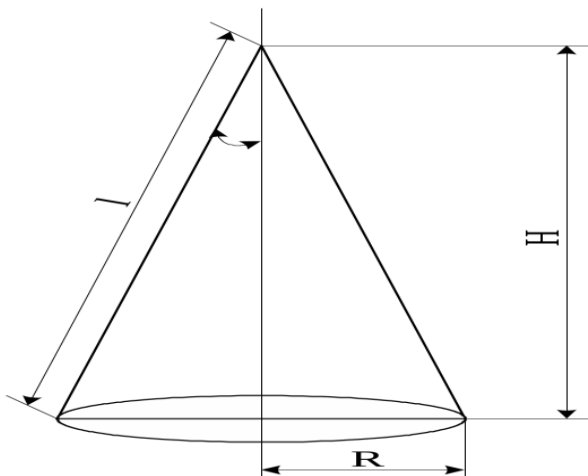


Рис. 4 Схема расчета поверхности дробящего конуса

$$S_1 = \pi \times R \times I \approx \pi \times \frac{D_K}{2} \times \frac{H}{\cos \beta_1}, \text{ м}^2 \quad (7)$$

где I – образующая конуса, м; H – высота дробилки, м.
 Тогда формула (6) преобразуется до вида (8)

$$= 23 \times 10^4 \times \pi \times D_K \times \frac{H}{\cos \beta_1}, \text{ Н} \quad (8)$$

5. Определение мощности электродвигателя конусной дробилки [5] имеет смысл определять по (9):

$$N = 12,6 D_K^2 \times n, \text{ кВт} \quad (9)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конусные дробилки. Муйземнек Ю.А., Калюнов Г.Л. Кочетов Е.В., и др. М., «Машиностроение». 1970, 231 стр.
2. Клушанцев Б.В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б.В. Клушанцев [и др.]. М.: Машиностроение, 1990.
- Олевский В.А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок / В.А. Олевский. Металлургиздат, 1958.

3. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов: учебник для ВУЗов. М.: Машиностроение, 1975.

4. Уч. пособие к практике по мех. обор.: <https://studfile.net> (Дата обращения 5.5.25)

5. Богданов, В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 551 с.

УДК 666.94

Попов В.П., Есютин А.И., Белякова П.И.
Научный руководитель: Карначёв Д.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия.

АНАЛИЗ РЫНКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕЛЬНИЦ

В настоящее время, на фоне возросшего спроса на строительные материалы, идет активное развитие производства различного оборудования, предназначенного для производства строительных материалов. Одним из наиболее перспективных направлений, в данной сфере, является производство и проектирование оборудования для дробления и помола [1].

Центробежные мельницы представляют собой оборудование для помола, измельчение в котором происходит за счет удара зёрен материала об отбойные плиты или друг с другом. Название данные мельницы получили благодаря тому, что материал попадает в камеру помола под действием центробежных сил [2].

В настоящее время существуют различные конструкции центробежных мельниц, представленных на рынке. Ниже предлагаем рассмотреть некоторые из них.

«Ламел-777» представляет собой научно-производственное общество, начавшее свою работу в 1997 году. Данная компания производит гирационные мельницы, кинематическая схема которых представлена на рисунке 1. Данный производитель спроектировал машину с параллелограммным механизмом, который включает в себя две основные помольные камеры. В ходе лабораторных экспериментов, были выявлены ряд преимуществ и недостатков такой конструкции. К достоинствам машины можно отнести равномерное распределение нагрузок: динамических и вибрационных. А к недостаткам машины

относят: дисбаланс осей вала, наличие значительных вибрационных нагрузок. Данные недостатки приводят к значительным нагрузкам на привод, что уменьшает его жиненный цикл и увеличивает межремонтный период машины. Также, производитель ведёт работу над усовершенствованием конструкции самой компоновочной схемы машины, для этого в новую версию машины установлены дебалансы, которые уменьшают нагрузку на вал, а гашение вибрационных нагрузок реализуется благодаря установки в нижней части основания машины резиновых демпферов.

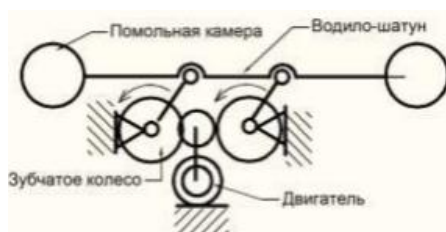


Рис. 1 Кинематическая схема центробежно – гирационной мельницы Ламел -777.

Мельница производства ХОРС (Рис. 2), несмотря на использование параллелограммной схемы, имеет существенные отличия от модели Ламел-777. В её конструкции предусмотрена одна центральная помольная камера, два вала с отдельными электродвигателями и четыре противовеса (по два на каждом валу), что обеспечивает динамическую балансировку.

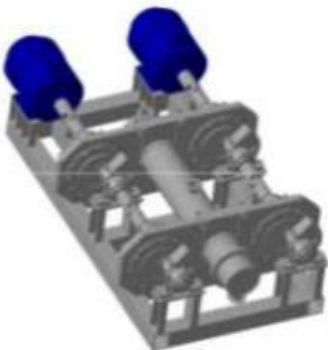


Рис. 2 Центробежная мельница ХОРС.

Однако, конструкция центробежной мельницы ХОРС обладает рядом существенных недостатков. Применение двух автономных двигателей вместо специализированного редуктора, позволяет значительно снижать производительность машины. Из-за различий в частотах вращения двигателей происходит замедление или ускорения попеременно каждого из приводов. Эта проблема заметна, когда при прохождении кривошипными механизмами крайнего горизонтального положения. Первый кривошипный механизм замедляет движение, а второй начинает отставать. Это серьёзно нагружает систему, что может привести к скорому выходу из строя данного механизма [3].

Рассмотрим центробежная эллиптическая шаровая мельница «Активатор - С5000» (рис. 3). К конструктивным особенностям данной шаровой мельницы можно отнести особенность двух независимых помольных камер, которые могут работать независимо друг от друга, а также отсутствие противовесных устройств, которые позволяют балансировать машину при её циклах работы. К основным тактико-техническим характеристикам машины можно отнести её производительность: до 5 т/ч, номинальный показатель мощности привода: 75 кВт, рабочую частоту вращения, близкую к 8,3 об/с или около 500 об/мин.

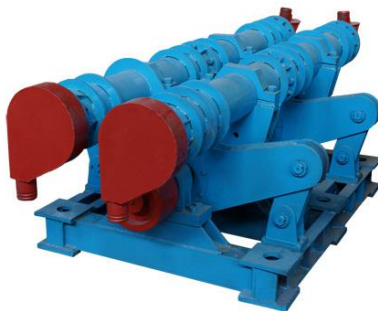


Рис. 3 Центробежная мельница Активатор-С5000.

Также, в данной машине реализована эллиптическая траектория движения мелющих тел и центробежный принцип измельчения, который позволяет увеличивать производительность уменьшая «мёртвые зоны» машины.

В ходе анализа конструкций современных центробежных мельниц были выявлены тенденции к использованию двух камер помола, применению одного двигателя и отсутствию противовесов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 551 с.

2. Воробьев В.В., Иванов Е.Н., Таболич А.В., Шиманович П.П. Центробежно-ударные мельницы для измельчения сырьевых материалов в производстве ячеистых бетонов.

3. Аскаров Е.С. Центробежно-гирационная мельница: монография. – КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, 2017. – 64 с.

УДК 621.926

Романенко Е.Д., Сазонов М.Д.

Научный руководитель: Горягин П.Ю., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Современное промышленное производство сопровождается образованием значительных объемов техногенных материалов, среди которых особое место занимает стеклобой – отходы стеклянных изделий, образующиеся в процессе строительства, реконструкции и демонтажа зданий. Рост объемов строительных работ приводит к увеличению количества стеклобоя, который является вторичным сырьем и требует эффективной переработки и утилизации. Основными источниками стеклобоя являются строительный мусор, отходы от производства стекла, а также битое стекло из различных стеклоизделий, включая свинецсодержащее стекло, электроннолучевые трубки и бытовые стеклянные отходы (рис. 1).

Переработка стеклобоя становится особенно актуальной в современных условиях из-за его значительного экологического воздействия: стеклобой не разлагается в окружающей среде в течение сотен и тысяч лет, что приводит к загрязнению почв и вод, а также создает травмоопасные условия. Кроме того, свинецсодержащее стекло представляет дополнительную опасность из-за выщелачивания токсичных соединений свинца. В связи с этим переработка стеклобоя не только снижает экологическую нагрузку, но и способствует экономии природных ресурсов и энергозатрат: при использовании вторичного стекла для производства новой продукции снижаются энергозатраты до

30% по сравнению с выплавкой первичного стекла.

Основные этапы переработки стеклобоя включают сбор и сортировку по цвету и размеру, очистку от примесей, промывку, дробление и измельчение, после чего полученный стеклопорошок используется для изготовления новых стеклоизделий, строительных материалов, а также теплоизоляционных продуктов, таких как пеностекло. Таким образом, переработка стеклобоя является важным направлением в решении экологических проблем, связанных с отходами стекла, и способствует развитию устойчивого использования ресурсов в строительной и стекольной промышленности [1].



Рис. 1. Основные источники образования стеклобоя

Стеклобой широко используется в различных отраслях, включая производство новой стеклянной тары для пищевой, фармацевтической и химической промышленности, а также изготовление лабораторной, медицинской и бытовой посуды. Кроме того, из стеклобоя производят теплоизоляционные материалы – пеностекло и стекловату, которые применяются для утепления стен, кровель, трубопроводов и сэндвич-панелей в строительстве. Стеклобой также используется для изготовления стеклянных шариков, абразивных материалов, керамических и стеклокерамических плиток, облицовочных стеклоплит и стекловолкна, которое служит сырьем для стеклопластика и других композитов. Важным направлением является производство жидкого стекла (силикатного клея) для герметизации и влагозащиты, а также применение стеклобоя в атомной промышленности и гражданском строительстве как сырья для вяжущих материалов и теплоизоляционных изделий

Выбор конкретного типа измельчительного оборудования зависит от требований к размеру конечной фракции и характеристик стеклобоя. Щековые дробилки подходят для крупного дробления, молотковые и валковые – для получения средних и мелких фракций, при этом валковые измельчители используются для дробления материалов средней прочности с высокой хрупкостью. Часто для увеличения энергоэффективности оборудования используют комбинацию нескольких видов дробилок, что позволяет перерабатывать стеклобой различных типов, включая тару, автомобильное стекло и промышленные отходы [2].

Самой распространенным оборудованием для измельчения стеклобоя является валковая дробилка. Она обеспечивает равномерное и эффективное дробление стекла за счет сжатия, а регулируемый по размеру межвалковый зазор позволяет получать материал заданной фракции [3].

Повышение эффективности дробления за счет изменения рабочей поверхности позволяет не только снизить объемы захоронения отходов, но и расширить возможности их повторного использования в строительстве и других отраслях промышленности [4-5].

В результате анализа патентнозащищенных конструкций были определены основные направления конструктивно-технологического совершенствования валковых дробилок. Перспективным направлением модернизации является использование валковых дробилок с развитой рабочей поверхностью, например с шипованными валками [6-9]. Такая конструкция (рис. 2) способствует более интенсивному захвату и разрушению материала, особенно при переработке отходов с высокой прочностью и неоднородной структурой. Также, за счет высокоскоростного дробления уменьшается количество истираемого материала, что приводит к меньшему образованию стеклянной пыли [10].



Рис. 2. Валковая дробилка с шипованными валками

Шипы, равномерно распределённые по поверхности валков, обеспечивают многократное точечное воздействие на перерабатываемый материал, увеличивая степень его измельчения и снижая вероятность прохождения крупных фрагментов между валками без разрушения. Шахматный порядок установки шипов предотвращает образование «мертвых зон» и способствует равномерной нагрузке на рабочие органы, что положительно сказывается на сроке их службы [11].

Внедрение предлагаемой модернизации позволяет существенно повысить эффективность работы валковой дробилки. Увеличивается степень измельчения материала, снижается износ валков за счет более равномерного распределения нагрузки, уменьшается энергопотребление.

Повышение качества измельчения расширяет возможности дальнейшего использования вторичных материалов, что соответствует современным требованиям ресурсосбережения и экологической безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайдуков, В. С. Технологии и оборудование для переработки строительных отходов / В. С. Гайдуков, А. Н. Кузнецов. – М.: Стройиздат, 2018. – 256 с.
2. Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Свергузова С.В., Шкарпеткин Е.А. Современные методы переработки и утилизации строительных отходов: учебное пособие / В.С. Севостьянов, Т.Н. Ильина, С.В.

Свергузова, Е.А. Шкарпеткин. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. — 210 с.

3. Кузнецов, А. Н. Современные конструкции валковых дробилок // Горное оборудование и электрификация. — 2020. — № 3. — С. 45–52.

4. Иванов, П. А. Повышение эффективности переработки техногенных отходов методом измельчения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2019. — Т. 5. — С. 112–116.

5. Петров, Ю. С. Переработка строительных отходов: проблемы и решения // Экология и промышленность России. — 2022. — № 4. — С. 90–94.

6. Патент RU 2288036 C1. Валковая дробилка / В.Ф. Козлов, В.В. Козлов, А.В. Козлов. — Заявл. 04.07.2005; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33. — 4 с. — (Российская Федерация). — МПК B02C 4/00. URL: <https://patents.google.com> (Дата обращения 5.5.25)

7. Патент RU 210515 U1. Валок четырехвалковой дробилки / В.Ф. Козлов, В.В. Козлов, А.В. Козлов. — Заявл. 10.01.2001; опубл. 10.03.2001, Бюл. № 7. — 4 с. — (Российская Федерация). — МПК B02C 4/00. URL: <https://patents.google.com> (Дата обращения 5.5.25)

8. Патент RU 98343 U1. Устройство для утилизации автомобильного и строительного стекла Триплекс / А.А. Кузнецов, С.В. Кузнецов. — Заявл. 20.08.2010; опубл. 20.10.2010, Бюл. № 28. — 4 с. — (Российская Федерация). — МПК B09B 3/00. URL: <https://yandex.ru> (Дата обращения 5.5.25)

9. Патент RU 186478 U1. Валковая дробилка с регулируемым зазором / Иванов И.И., Петров П.П. — Заявл. 20.11.2018; опубл. 22.01.2019, Бюл. № 2. — 4 с. — (Российская Федерация). — МПК B02C 4/00. URL: <https://yandex.ru> (Дата обращения 5.5.25)

10. Соловьев, И. В. Модернизация рабочих органов дробильного оборудования // Машиностроение и техника. — 2021. — № 7. — С. 29–33.

11. Романович М.А., Романович А.А., Чеховской Е.И., Бутов А.П. Модернизация рабочих органов валковой дробилки для переработки техногенных отходов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2020. — № 12. — С. 151–158.

*Бабуков В.А., Ряднов К.А., Труфанов А.А.
Научный руководитель: Севостьянов В.С., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация*

ВЫБОР СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И СПОСОБА ГРАНУЛИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ

На современном этапе развития человеческого общества, как никогда ранее, встает вопрос о комплексной переработке вторичных материальных ресурсов (ВМР). Одним из видов ВМР являются техногенные волокнистые отходы (базальтовые, асбестовые, полипропиленовые, древесные, стеклянные и др. волокна) различных производственных линий и строительной сферы. Данные материалы подвергаются при эксплуатации различным видам воздействия – температурного, атмосферного, механического, химического и др. Но, как правило, отходы производств утеплителей, если их не перерабатывают вместе с первичной продукцией, вывозят на полигоны складирования ВМР, где они занимают достаточно большие площади [1].

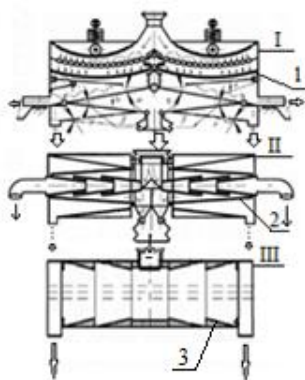
В тоже время данные материалы целесообразно перерабатывать с дальнейшим получением различных видов продукции. Одним из способов переработки, на примере базальтового волокна, является гранулирование.

Гранулирование – совокупность физических и физико-химических процессов, которые обеспечивают формирование гранул определенных размеров, форм, необходимой структуры, а также физических свойств из порошкообразных материалов с размерами частиц $l=1 \times 3$ мм. Гранулирование проводят с целью получения промежуточных, а также готовых продуктов более высокого качества. Этот процесс позволяет значительно снизить склонность волокнистых материалов к слеживанию, повысить плотность компактированного продукта, гидрофобности и др. Упрощаются процессы транспортировки, а также увеличивается сроки хранения без значительных изменений физико-механических характеристик и физико-химических свойств. Технологии гранулирования широко применяют в химической, пищевой, фармацевтической, металлургической и других отраслях промышленности [2].

Одним из методов гранулирования является окатывание. Оно включает следующие стадии: смачивание частиц материала связующим, в результате чего образуются агломераты частиц, уплотненных в слое шихты. Процесс осуществляют в барабанных, тарельчатых, скоростных, вибрационных и других грануляторах.

Коллективом авторов разработан вибро-центробежный агрегат комбинированного действия [3] рис. 1, предназначенный для комплексного воздействия на базальтовые волокнистые отходы (БВО).

Главное преимущество использования патентозащищенного агрегата заключается в постадийной переработке БВО: дезагломерации, классификации, смешения и гранулирования. Последнее позволяет более равномерно распределять гранулированные фиброполнители по заданному объему композиционных смесей с последующим распределением волокон в локальных зонах смеси (при механическом или температурном воздействии на гранулы).



а



б

Рис. 1 - Конструктивное исполнение ВЦА КД (а) и опытно-промышленная установка для дезагломерации, классификации и гранулирования методом окатывания (б): (а) I – камера дезагломерации базальтовых волокнистых материалов с устройствами первичного классифицирующего действия, II – камера заключительной классификации дезагломерированных волокон, мелкозернистого спека – «корольков» и просыпи, III – камера гранулирования регламентированных по длине волокон, 1 – цепные завесы и ромбовидный классификатор, 2 – конические просеивающие элементы, 3 – гуммированные конические элементы; (б) – опытно-промышленная установка.

Степень заполнения агрегата материалом может изменяться от 15 до 20 %. Процесс грануляции в ВЦА КД происходит на боковой цилиндрической поверхности нижней камеры гранулирования с гуммированными коническими вставками. Применение последних, позволяет увеличить время нахождения гранулируемой шихты в агрегате, а также обеспечивает объемно-пространственное перемещение волокон, способствующее приданию гранулам сферообразной формы.

Важное значение при гранулировании имеет способ ввода в материал связующего. Окачивание происходит путем взаимодействия поверхностных сил, воздействующих на волокна при их смачивании. Различают три типа смачивания: контактное (адсорбционное), смачивание с погружением (пропиткой), смачивание при растекании.

Функции связующего вещества следующие:

- 1) адгезионное взаимодействие частиц-волокон друг с другом;
- 2) обеспечение формирования системы материал-связующее;
- 3) химические превращения, при образовании прочного монолита.

Связующие вещества могут отличаться происхождением:

- животное (мездровый, казеиновый и др.),
- растительное (крахмал, декстрин, меласса и др.),
- минеральные (силикатные, битумные, каменноугольные и др.);
- синтетические соединения - полученные путем химического синтеза [4].

На стадии поисковых экспериментов, в качестве связующего, нами применялся 5 %-й КМЦ («Карбокси Метил Целлюлоза») для получения гранулированного фибронаполнителя из БВО. Гранулы с размерами $d_{\text{ср}}=4\div6$ мм, содержанием связующего, $C_{\text{св}}=12\div16$ %, при проведении изысканий, показали плотность слоя гранул, $\rho_{\text{ср сл. гр.}}=320\div350$ кг/м³; прочность на сжатие, $\sigma_{\text{сж. сл.гр.}}=0,8\div1,2$ МПа [5].

Таким образом, проведенные исследования, подтвердили целесообразность применения разработанного коллективом авторов вибро-центробежного агрегата комбинированного действия для комплексной переработки БВО с получением гранулированных фибронаполнителей.

Источник финансирования. Работа подготовлена при финансовой поддержке в рамках государственного задания FZWN-2024-0002 «Разработка, исследования и опытно-промышленная апробация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка / учебное пособие // – М.: Гранд, 2002. 328 с.
2. П. В. Классен, И. Г. Гришаев, И. П. Шомин. Гранулирование / учебное пособие // – М.: Химия, 1991. 240 с.
3. Земляной К. Г. Временные технологические связующие в промышленности // журнал «Новые огнеупоры», 2013, №3, С. 15–17.
4. Патент РФ № 2774302 Устройство для вибрационно-центробежной классификации техногенных волокнистых материалов / В.С. Севостьянов, Н.Т. Шеин, М.В. Севостьянов, В.В. Оболонский, В.А. Бабуков, А.В. Уральский, В.Ю. Шаповалов; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», заявка на патент № 2021137137 заявл.: 15.12.2021, опубл.: 17.06.2022, Бюл. № 17.
5. Бабуков В.А. Исследования технологических условий получения гранулированных фибронаполнителей из техногенных волокнистых материалов / В.А. Бабуков, В.С. Севостьянов, С.В. Клюев, А.М. Проценко, М.С. Агеева // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Казань, 21–22 марта 2023 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. 2023. С.559 – 564.

УДК 622.7

Сазонов М.Д., Романенко Е.Д.

***Научный руководитель: Дубинин Н.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

МОДЕРНИЗАЦИЯ БИЛ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Современное строительство сопровождается образованием значительных объемов отходов, включающих бетон, дерево, металл, стекло и другие материалы (рис. 1). Данные строительные отходы занимают большие площади на полигонах и создают серьезную экологическую нагрузку. Далеко не все строительные отходы подлежат повторной переработке, что усугубляет проблему их утилизации.

В условиях плотной городской застройки возникает проблема нехватки площадей для сортировки и хранения различных видов строительных отходов, что затрудняет их эффективный раздельный сбор и переработку. Помимо этого, большая стоимость создания систем утилизации и недостаток необходимой информации о современных технологиях переработки не способствуют развитию рециклинга строительных материалов [1].

Морфологический состав строительных отходов

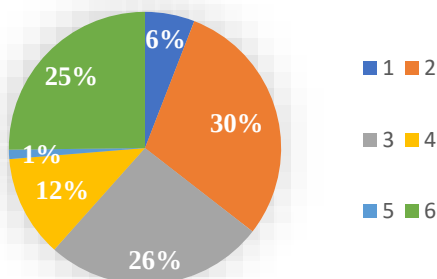


Рис. 1. Морфологический состав строительных отходов

1 - Цементные; 2 - сборные железобетонные и бетонные конструкции; 3 - материалы стен; 4 - нерудные материалы; 5 - теплоизоляционные материалы; 6 - прочие 25,2%

Увеличение объемов переработки строительных отходов позволяет не только уменьшить негативное воздействие на экологию, но и сэкономить природные ресурсы, а также снизить расходы на строительство благодаря использованию вторичного сырья. Следовательно, улучшение технологий обработки строительного мусора имеет ключевое значение для устойчивого развития строительной отрасли и защиты окружающей среды [2].

Существует большое количество роторных дробилок, но в данном случае будет рассмотрена СМД-75А, предназначенная для измельчения крупных кусков материалов с максимальным размером до 300 мм, таких как известняк, доломит, гипс, мрамор и руды с малой абразивностью. Основные технические характеристики дробилки включают производительность до 135 м³/ч, установленную мощность 132 кВт и массу около 10 тонн [3].

Конструкция дробилки предусматривает наличие бил ротора, выполненных из марганцовистой стали 110Г13Л, которая обеспечивает

высокую износостойкость и ударную прочность. Била и отбойные плиты – самые изнашиваемые детали оборудования. В дробилке предусмотрено предохранительно-регулирующее устройство, обеспечивающее пропуск недробимых тел и регулировку зазора между бил и ротором и отбойными плитами, что повышает надежность работы [4].

В результате анализа патентнозащищенных конструкций была выбрана следующая модернизация для повышения эффективности переработки строительных отходов, особенно твердых и абразивных материалов, предлагается модернизация бил ротора роторной дробилки СМД-75А (рис. 2, а) с применением конструкции бил в виде шевронного зацепления (рис. 2, б) [5].

Использование шевронного зацепления в конструкции бил способствует более равномерному распределению усилий между бил и отбойной плитой, что позволяет эффективнее захватывать и измельчать материал. Благодаря этому снижается износ рабочих элементов и увеличивается общая производительность дробилки. Кроме того, подобная модернизация обеспечивает более однородное дробление, что положительно влияет на качество конечной фракции [6].

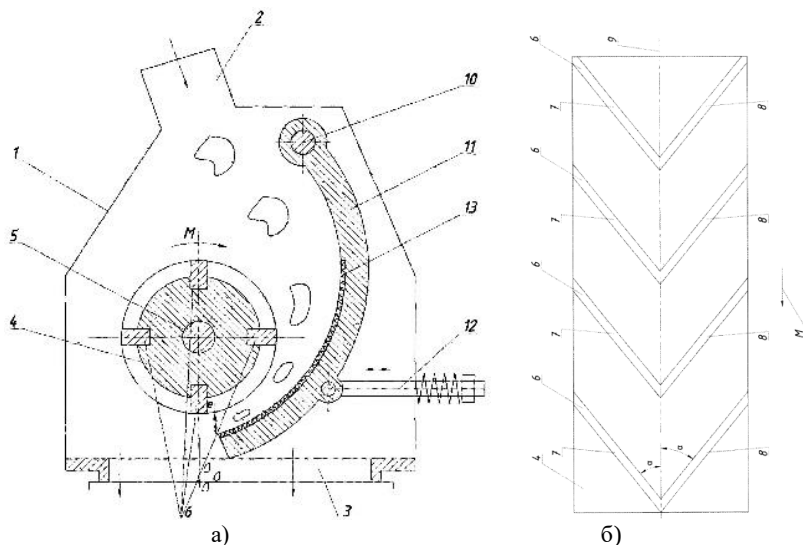


Рис. 2. а) Роторная дробилка; б) развертка ротора с билами

1 - корпус; 2 - загрузочный патрубкок; 3 - разгрузочный патрубкок; 4 - ротор; 5 - вал; 6 - била; 7 - сторона била (первая); 8 - сторона била (вторая); 9 - продольная

ось ротора; 10 - ось отражательной плиты; 11 - отражательная плита; 12 - подпружиненная тяга; 13 - клиновые режущие выступы.

Использование этой модернизации будет полезно при переработке строительных отходов, где материалы отличаются своей абразивностью и прочностью. Модернизация конструкции бил ротора дает возможность расширить спектр перерабатываемых материалов и повысить ресурсосбережение за счет снижения затрат на ремонт и замену изнашиваемых элементов [7].

Использование шевронного зацепления для модернизации бил ротора дробилки СМД-75А, позволяет в достаточной мере увеличить эффективность и устойчивость работы оборудования в процессе дробления строительных отходов. В условиях активного роста количества и разнообразия строительного мусора, подобные инновационные изменения конструкции способствуют внедрению новых технологий, экономящих ресурсы, а также положительно сказываются на экологической ситуации в сфере строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Свергузова С.В., Шарпеткин Е.А. Современные методы переработки и утилизации строительных отходов: учебное пособие / В.С. Севостьянов, Т.Н. Ильина, С.В. Свергузова, Е.А. Шарпеткин. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. — 210 с.

2. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В., Уральский А.В. Вопросы динамического исследования центробежного помольно-смесительного агрегата // Вибрационные машины и технологии: сб. науч. тр. / редкол.: С.Ф. Яцун (отв. ред.) и др. — Курск: Курский гос. техн. ун-т, 2008. — С. 596-601.

3. Роторная дробилка СМД-75А // Тульский машиностроительный завод. — 2024. — URL: <https://tulmash.ru> (дата обращения: 20.05.2025).

4. Вендин С.В. Основы автоматизации технологических процессов строительного производства: учебное пособие / С.В. Вендин. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. — 180 с.

5. Роторная дробилка с биллом в виде шевронного зацепления: пат. RU 147047 U1 Российская Федерация. № 2014132071; заявл. 07.08.2014; опубл. 27.10.2014 / В.А. Кулагин, А.В. Кулагин. — 2 с. — URL: <https://yandex.ru> (дата обращения: 22.05.2025).

6. Реутова Я.И. Совершенствование конструкции роторной дробилки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2016. — №4. — С. 136–138.

7. Кузнецов В.В. Технологии переработки строительных отходов: учебное пособие. — М.: Стройиздат, 2022. — 256 с.

УДК 666.94

Сёмкин Д.В., Юдин В.И.

Научный руководитель: Булгаков С.Б. канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ РЫНКА СТРУЙНЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ МЕЛЬНИЦ

Струйная мельница (Рис. 1) – это устройство, предназначенное для сверхтонкого помола (менее 1 мкм), путём циркуляции материала, в результате которого возникает соударение частиц друг с другом или внутренней частью мельницы, воздухом или паром.



Рис. 1 Струйная мельница

Струйные противоточные мельницы используются для измельчения различных материалов, таких как:

1. Металлы;
2. Керамика;
3. Органические вещества;
4. Фармацевтические препараты;
5. Химикаты и реактивы.

Поскольку такие мельницы используются для измельчения разных материалов, то они имеют различия в своих конструкциях.

Для помола в фармацевтической отрасли струйные мельницы создаются из нержавеющей стали и сглаженными углами для предотвращения засора. Такие мельницы обладают специальной системой защиты и системой управления процессом для строгого контроля размера частиц [5].

Мельницы, предназначенные для помола металлов и сплавов, обладают повышенной прочностью, другими формами сопел и форсунок, скоростными режимами обработки и более эффективным охлаждением.

Не обошлось без отличия в конструкции струйной мельницы, предназначенной для органических веществ (Рис. 2). Такие мельницы оснащены системой контроля температуры и влажности, поверхность камер и трубопроводов полируются до зеркальной поверхности и система фильтрации схожа с мельницей, предназначенной для химической отрасли.



Рис. 2 Струйная мельница для органических веществ

Мельницы предназначенные для помола керамики (Рис. 3) оснащены высокопрочной камерой для измельчения и обладают другим способом подачи материала. Также данные мельницы оборудованы многоступенчатыми фильтрами, сложной системой циклонных сепараторов и запускаются при высоком давлении газа.



Рис. 3 Струйная мельница, предназначенная для помола керамики

В мире существует огромное множество производителей таких мельниц, например, из зарубежных это - германские «Hosokawa Alpine AG» и «Aerosil Technologies GmbH», американская «Sprout-Bauer» и швейцарская «Neltec SA».

В России струйные мельницы производят: «ЗАО «НПО Технэкология», ООО «Лабораторное оборудование и приборы» («ЛОИП»), «Мельник-Нано».

Чтобы определиться с выбором компании производителя струйных противоточных мельниц стоит понимать свои потребности, так как все фирмы специализируются на разных типах струйных мельниц.

«Hosokawa Alpine AG» производят мельничное оборудование для фармацевтической, химической и пищевой промышленности. Их компания известна компактными системами подачи воздуха и высоким качеством оборудования.

«Aerosil Technologies GmbH» специализируется на производстве мельниц и классификаторов для ультратонкого помола и разделения частиц.

«Sprout-Bauer» – это компания, специализирующаяся на производстве многих типов мельничных установок для разных видов переработки минералов, химикатов и пищевой продукции.

«Neltec SA» занимается производством струйных мельниц, предназначенных для фармацевтики, микронизированных порошков, косметики и химии.

«НПО Технэкология» специализируется на разработке и изготовлении различного технологического оборудования.

ООО «Лабораторное оборудование и приборы» – это российская компания, занимающаяся разработкой промышленных моделей

струйных мельниц для переработки лекарственных препаратов, минеральных удобрений и кормовых добавок.

«Мельник-Нано» – отечественная компания, славящаяся производством высокоэффективных струйных мельниц для фармацевтики, химии и сельского хозяйства.

Поскольку промышленность не стоит на месте, всё больше требуется оборудования для смешивания и сверхтонкого помола, струйные противоточные мельницы являются хорошим выбором в данных направлениях. С каждым годом растут продажи разных типов мельниц и объём их производства также непрерывно растёт, особенно в таких промышленных зонах как Азия, Европа и США.

В мире всё больше начинают внедряться экологически чистые технологии, одними из которых являются струйные мельницы. Точный контроль размеров частиц, их отсев и сверхтонкий помол обеспечивает им огромный спрос на рынках химической, фармацевтической и органической продукции.

В продаже и производстве данного оборудования особо выделяются США, Германия, Швейцария, Китай и Россия. Хотя отечественное оборудование уступает зарубежному, его производство имеет стремительное развитие и рост. Именно поэтому российские производители постепенно укрепляют свои позиции на мировом, внутреннем рынках и имеют большой потенциал в данном направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Витязь П.А. Оборудование и технологии получения и использования наноструктурированных материалов /П.А. Витязь, Ю.А. Николайчик, С.Л. Ровин, Д.В. Куис, Н.А. Свидуневич // Литье и металлургия. 2021. № 1. С. 137-141.

2. Акунов В.И. Струйные мельницы. Изд. 2-ое. — М.: Машиностроение, 1967.

3. Гийо Р. Проблема измельчения и её развитие. — М.: Стройиздат, 1964.

4. Кваша В.Б. Мельницы тонкого измельчения / В.Б. Кваша, И.К. Ермолин. Тверское региональное отделение РХО им. Менделеева. Тверь. 2001.

5. Богданов В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 551 с.

Сысоев А.Н., Медведев С.В.

Научный руководитель: Анциферов С.И. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ СУХОЙ СЫРЬЕВОЙ МУКИ

Современные устройства подачи сухой сырьевой муки представляют собой высокотехнологичные системы, которые используются для транспортировки, дозирования и равномерного распределения муки на производстве. Среди наиболее известных устройств можно выделить следующие:

Винтовой (шнековый) конвейер один из распространённых устройств для транспортировки и подачи сухого сыпучего материала. Принцип работы конвейера заключается во вращении винта (шнека) внутри трубы, который перемещает сырьё от точки загрузки к точке выгрузки (Рис. 1). В различных отраслях промышленности встречаются винтовые конвейеры: горизонтального; вертикального; в виде комбинации горизонтального и вертикального; наклонные и их сочетания и других типов [1].

Основными достоинствами этого конвейера являются закрытый транспортный тракт, компактность по сравнению с другими конвейерами, безопасность в работе и обслуживании. Недостатком является то, что конвейер малопригоден для перемещения крупнокузовых, липких и влажных грузов [2].

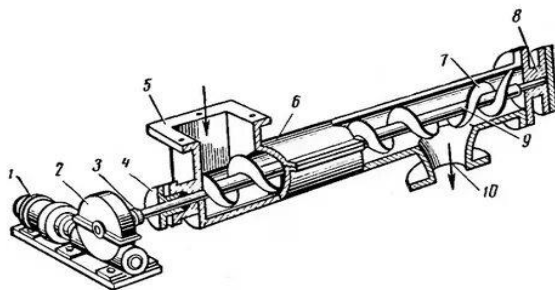


Рис. 1 Винтовой конвейер:

1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – муфта; 4, 8 – подшипники;

5 – загрузочная воронка; 6 – корпус; 7 – лопасти; 9 – вал; 10 – разгрузочный люк

Скребковый конвейер состоит из цепи или ленты с прикреплёнными на ней скребками, которые движутся вдоль направляющих. Это устройство особенно полезно для транспортировки трудно разрушаемых комковатых материалов. Скребковые конвейеры подразделяются по форме скребков – со сплошными и контурными, а также по высоте скребков – с высокими и низкими [2] (Рис. 2).

К достоинствам этих конвейеров можно отнести герметичность процесса транспортирования, широкий диапазон транспортирования, к недостаткам – сильное изнашивание цепей, скребков и дна желоба.

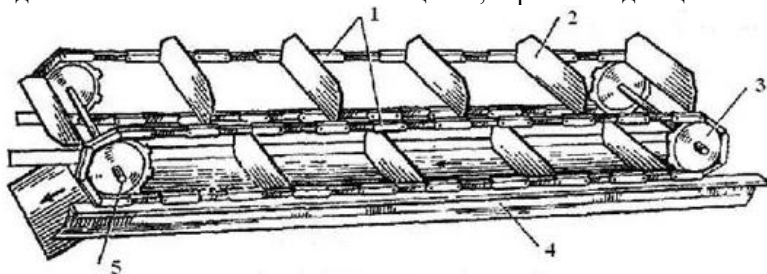


Рис. 2 Скребковый конвейер:

1 – цепь; 2 – скребок; 3 – натяжная звездочка; 4 – желоб;
5 – приводная звездочка

Ленточный конвейер удобен для горизонтальной и наклонной транспортировки различных насыпных и штучных грузов в промышленности, строительстве и других отраслях промышленности.

Транспортировка и дальнейшая подача муки производится путем ее перемещения по бесконечной вертикально замкнутой гибкой ленте, натянутой между двумя барабанами [2,3] (Рис. 3).

Достоинствами ленточных конвейеров можно считать низкое энергопотребление, простота обслуживания, доступность и низкая стоимость эксплуатации. К недостаткам ленточных конвейеров относится высокая стоимость ленты и роликов, составляющая около 50 и 30 % общей стоимости конвейера [3].

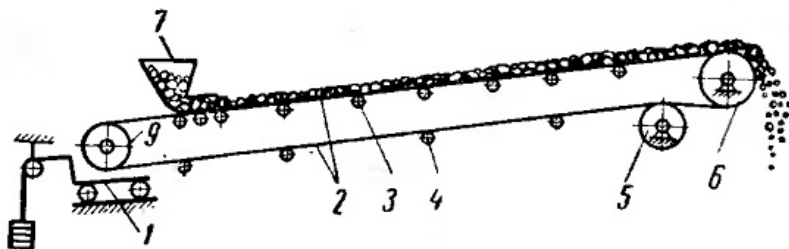


Рис. 3 Ленточный конвейер:

- 1 – натяжное устройство; 2 – лента; 3 и 4 – верхние и нижние роликовые опоры; 5 – натяжной барабан; 6 и 9 – головной и хвостовой барабаны; 7 – загрузочное устройство (воронка)

Аэрожёлоб представляет собой трубопровод, по которому перемещение порошкообразных материалов происходит путем продувания их воздушным потоком. Такой метод транспортировки обеспечивает минимальное механическое воздействие на материал, сохраняя качество сырья. Данные устройства широко применяются на производстве, где необходимо сохранить структуру продукта и избежать его загрязнения (Рис. 4).

Достоинствами можно считать минимальное механическое воздействие на продукт, сохранение формы и целостности сырья. Недостатками же большое энергопотребление, возможность перегрева сырья при длительном воздействии воздушного потока.

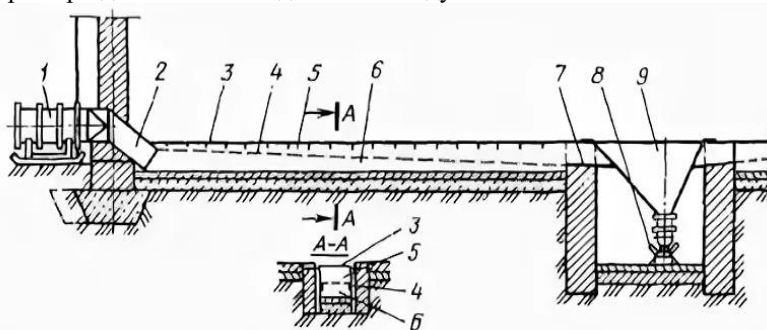


Рис. 4 Схема аэрожёлоба:

- 1 – осевой вентилятор; 2 – диффузор; 3 – предохранительная решетка; 4 – воздухораспределительная решетка (чешуйчатое сито); 5 – канал для транспортировки; 6 – канал для распределения воздуха; 7 – тормозное устройство; 8 – ленточный конвейер нижней галереи; 9 – выпускная воронка

Роторный питатель (шлюзовый затвор) используется для точного дозирования мелких сыпучих материалов перед подачей её на производственные линии. Такой способ обеспечивает равномерную подачу продукта, сохраняя точность на производстве (Рис. 5).

Достоинства данного устройства – точное дозирование, возможность интеграции с пневматическими линиями подачи, компактность конструкции [4]. Недостатки – ограниченный объем подачи сырья, необходима тщательная настройка для предотвращения высыпания продукта.

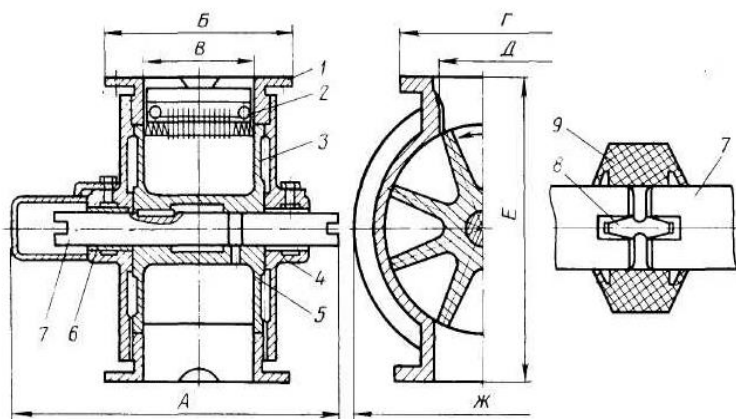


Рис. 5 Шлюзовый затвор типа РЗ-БШМ:

- 1 – корпус; 2 – щетка; 3 – ротор; 4 – крышка; 5 – установочный винт;
6 – втулка; 7 – вал; 8 – вкладыш; 9 – резиновая втулка

Исходя из выше сказанного, современные технологии предлагают широкий спектр решений для эффективной подачи сухой сырьевой муки. Рассмотренные устройства отличаются принципом действия, производительностью, стоимостью и уровнем автоматизации. Выбор нужного типа устройства зависит от конкретных потребностей производства, требуемой точности дозирования, размеров и качества продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.

2. Конвейеры: справочник / Р.А. Волков, А.Н. Гнутов, В.К. Дьячков и др.; ред. Ю.А. Пертен. – Ленинград: Машиностроение, 1984. – 367 с.

3. Зенков Р.Л. и др. Машины непрерывного транспорта [Учеб. для вузов по спец. "Подъем.-трансп. машины и оборуд."]/ Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1987. — 432 с.

4. Богданов, В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 551 с.

УДК 66.046

Шаталов В.А.

*Научный руководитель: Шкарпеткин Е.А. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РОТОРНО – ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ДИСПЕРГАТОР ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В деревоперерабатывающей промышленности образуется большое количество отходов, а для производства некоторых видов продукции требуется только качественная и «свежая» древесина. Отходы и обрезки, а так же лежалая древесина вывозится на полигоны для утилизации, что приводит к ежегодному нецелевому использованию (сжигается в печах) до 12000 т/год сырья [2]. При этом данные отходы имеют потенциал к применению для изготовления различной продукции: арболитовые строительные блоки, ДСП плиты, твердотопливные брикеты и пеллеты и др.

Технология производства, указанных выше, продуктов обуславливает потребность в измельчении древесных отходов до состояния мелкодисперсной муки с их последующим прессованием или брикетированием.

Применение измельчающих агрегатов с комплексным динамическим воздействием является крайне актуальным решением в современной твердотопливной промышленности по ряду причин. Их использование позволяет значительно сократить время на подготовку дисперсного сырья. Это повышает эффективность работы производственной линии и ускоряет процесс получения конечного продукта. Также агрегаты, которые совмещают в себе несколько механических воздействий на измельчаемое сырье, позволяют

адаптировать состав гомогенизируемой смеси под конкретные требования конечного продукта. Правильно подобранный измельчитель комплексного динамического воздействия позволяет оптимизировать расход электроэнергии, снизить потери и избежать лишних затрат на хранение и транспортировку готового твердотопливного продукта. Применение современных измельчающих агрегатов повышает качество труда работников предприятий, снижает их физическую нагрузку [1].

Согласно патента РФ № 2786113 С1 предлагается использование комбинированного способа измельчения древесной шихты с добавлением техногенных добавок, в нашем случае техногенного углерода (рис. 1) [3].



Рис. 1 древесные отходы и технический углерод для приготовления древесноугольной смеси

Для эффективного и качественного измельчения древесины и диспергирование ее с полезными добавками нами был разработан и запатентован агрегат с комплексным динамическим воздействием на измельчаемое сырье (патент РФ № 2785113).

В агрегате реализовано постадийное воздействие на измельчаемое сырье и измельчает его до размера частиц $d \leq (1-4) \times 10^{-3}$ м за счет использования роторной насадки с развитой поверхностью, воздействующей на материал (Рис.2.).



Рис. 2 Роторный агрегат с комплексным динамическим воздействием на сырье

Разработанный нами агрегат был применен в схеме известной линии по переработке древесины на территории ООО «ТК «Экотранс». Схема линии включает в себя различные питающие устройства и осадительные камеры (Рис. 3).

Линия состоит из ячейкового питателя, смесителя, роторного диспергатора и различных фильтров осадителей для мелкодисперсной смеси. По данной линии планируется подача древесных отходов в диспергатор для измельчения, технический углерод подается в отдельную камеру гомогенизации в разрабатываемом агрегате. Далее приготовленная смесь направляется в бункер для хранения через циклоны и фильтры для последующего брикетирования в прессовом агрегате.

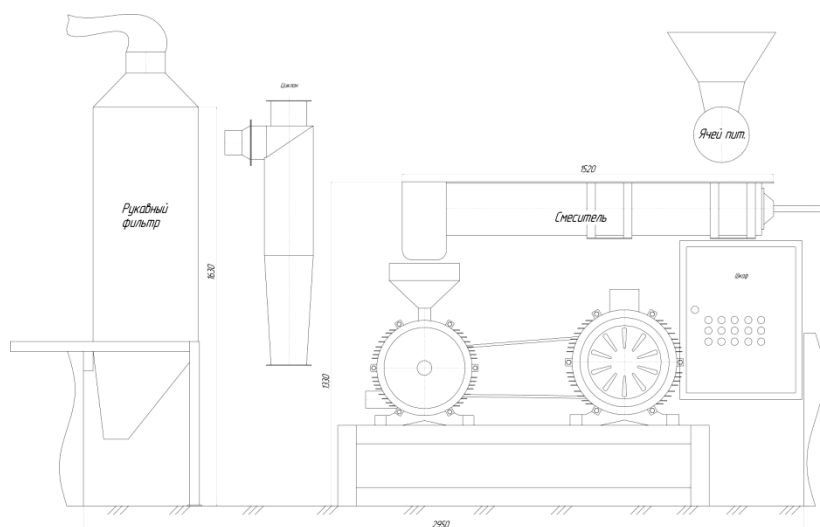


Рис. 3 Технологическая схема линии диспергирования древесных отходов.

Полученная диспергированная древесно - угольная смесь позволяет нам приготовить твердотопливные брикеты повышенного калоража. Основные параметры полученных твердотопливных брикетов приведены в таблице.

Таблица №1 результаты исследования улучшенных твердотопливных брикетов

Параметры	Уголь	Древесные брикеты	Древесно- угольные брикеты
Время горения, час	6	3-4	4-5
Содержание золы, %	15,6	5-7	6-10
Влажность, %	22	12	4
Калорийность (теплотворность), Ккал/кг	4500-5000	4130-4734	4800-5100
Плотность, кг/м ³	700	500	600

Полученные результаты подтверждают, что разработанный роторный диспергатор способен обеспечить перерабатывающую линию качественным измельченным и гомогенизированным сырьем для приготовления конечного продукта. А совмещение нескольких механических воздействий на сырье в рамках одного агрегата позволяет сократить энергозатраты на работу линии, сократить занимаемую рабочую площадь за счет отказа от дополнительного оборудования, тем самым повысить рентабельность производственной линии.

** Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках национального проекта «Наука и университет» по созданию новой лаборатории «Разработка, исследования и опытно-промышленная апробация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов» (проект FZWN-2024-0002) с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королева, Е. Л. К вопросу об использовании техногенных отходов в промышленности строительных материалов / Е. Л. Королева, Н. П. Лукутцова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. – 2006. – № 9. – С. 76-79.
2. Брикетирование древесных отходов / Д. В. Бастриков, О. В. Чибирев, В. А. Кацадзе [и др.] // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции, Вологда, 01–02 декабря 2015 года / Министерство образования и науки РФ; Правительство Вологодской области; Департамент лесного комплекса Вологодской области; Вологодский государственный университет. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2016. – С. 102-105.
3. Патент № 2786113 С1 Российская Федерация, МПК В02С 18/00. Роторно-центробежный диспергатор: № 2022126667: заявл. 13.10.2022; опубл. 19.12.2022 / В. А. Шаталов, С. А. Михайличенко, А. В. Шаталов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".
4. Технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов / С. Н. Глаголев, Н. Т. Шеин, В. С. Севостьянов [и др.] // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 12. – С. 11-15. – DOI 10.18412/1816-0395-2020-12-11-15.

5. Патент № 2773396 С1 Российская Федерация, МПК F23G 5/027, В09В 3/00. Установка для низкотемпературного термолиза твердых коммунальных и промышленных отходов: № 2021134475: заявл. 24.11.2021: опубл. 03.06.2022 / С. Н. Глаголев, В. С. Севостьянов, Н. Т. Шеин [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова", Общество с ограниченной ответственностью "ТК "Экотранс".

6. Шарпеткин, Е. А. Исследования влияния продолжительности смешивания на качество смеси / Е. А. Шарпеткин, Т. Н. Орехова // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 1122-1125.

Оглавление

Ашихмин Э.А., Медведев С.В., Кулик А.Г.

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ	3
--	---

Бардынин А.А., Гарбузов Д.Д.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АСПИРАЦИИ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ	6
--	---

Бочарникова А.С., Зубов И.В., Запара У.И.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ТРУБНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ	10
---	----

Гарбузов Д.Д., Бардынин А.А.

АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК.....	14
--	----

Карачевцева А.В., Пушкарёв А.И.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНЖЕНЕРНОМУ АНАЛИЗУ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ.....	19
--	----

Колесников М.С., канд. техн. наук.

АСПИРАЦИЯ ВОЗДУХА В ПРОЦЕССАХ ПОСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ	25
---	----

Литвин Д.В., Шмыгов Е.С., Парфенов В.А.

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬЮ 220 ТОНН	28
---	----

Обернихин А.А., Хруслов Д.А.

РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ	33
--	----

Попов В.П., Есютин А.И., Белякова П.И.

АНАЛИЗ РЫНКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕЛЬНИЦ.....	38
--	----

Романенко Е.Д., Сазонов М.Д.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.....	41
---	----

Бабуков В.А., Ряднов К.А., Труфанов А.А.

ВЫБОР СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И СПОСОБА ГРАНУЛИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ	46
Сазонов М.Д., Романенко Е.Д.	
МОДЕРНИЗАЦИЯ БИЛ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ	49
Сёмкин Д.В., Юдин В.И.	
АНАЛИЗ РЫНКА СТРУЙНЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ МЕЛЬНИЦ	53
Сысоев А.Н., Медведев С.В.	
СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ СУХОЙ СЫРЬЕВОЙ МУКИ.....	57
Шаталов В.А.	
РОТОРНО – ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ДИСПЕРГАТОР ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	61