**Демченко Сергей Евгениевич. Совершенствование процесса измельчения в конусной инерционной дробилке : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.13 Белгород, 2007 149 с., Библиогр.: с. 136-147 РГБ ОД, 61:07-5/2373**

БЕЛГОРОДСКИЙ ГОС *9* ЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА

УДК 621.926 На правах рукописи



Демченко Сергей Евгениевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В КОНУСНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ДРОБИЛКЕ

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Специальность 05.02.13 - “Машины, агрегаты и процессы”

(строительство)

Научный руководитель - д.т.н, профессор Богданов B.C.

БЕЛГОРОД 2007

-2-

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ КОНУСНОГО ДРОБЛЕНИЯ

1. Анализ существующих конструкций конусных дробилок 10
2. Современные методы и способы управления процессом дробления в конусных инерционных дробилках 33
3. Существующий математический аппарат для расчёта основных по­казателей характеризующих процесс дробления 38
4. [Производительность конусных дробилок 39](#bookmark4)
5. Потребляемая мощность конусных дробилок 45
6. Предлагаемые теоретические посылки к проведению исследований..47
7. Цель и задачи исследований 48

Выводы 49

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНУСНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ДРОБИЛКИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

1. Решение задачи описания процесса движения подвижного конуса по

поверхности неподвижного конуса 51

1. Силовые характеристики движения подвижного конуса 57
2. [Математическое описание процесса дробления материала в ко­нусной инерционной дробилке 62](#bookmark14)
3. Объёмная пропускная способность конусной инерционной дро­билки. Анализ результатов теоретических расчётов 70

Выводы 75

ГЛАВА 3. ПЛАН И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. [Основные положения экспериментальных исследований 76](#bookmark22)
2. [Описание экспериментальной установки и средств контроля 78](#bookmark21)
3. Методики экспериментальных исследований 83
4. [Поисковые эксперименты 86](#bookmark23)
5. Характеристики исследуемого материала 88
6. [План проведения многофакторного эксперимента 89](#bookmark24)

Выводы 93

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Анализ результатов экспериментов 94
2. Анализ уравнения регрессии производительности КИД по ис­ходному материалу *Q* 96
3. [Анализ уравнения регрессии производительности КИД по про­дукту товарной фракции *QT* 103](#bookmark25)
4. Анализ уравнения регрессии потребляемой мощности *Р* 112
5. Анализ уравнения регрессии удельного расхода электроэнергии по товарному продукту *q1* 118
6. [Оптимизация конструктивных параметров камеры дробления и режимов процесса измельчения конусной инерционной дро­билки 123](#bookmark28)

[Выводы 129](#bookmark31)

ГЛАВА 5. ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.ЛЗО

Выводы 132

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ 134

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 136](#bookmark32)

ПРИЛОЖЕНИЯ 148

-4-

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях производства строительных материалов суще­ственно изменены требования к качеству продуктов измельчения: сырья це­ментного производства, фракционных составляющих заполнителей в бетонах и растворах, зерновому составу шихты стекольного производства. В настоя­щее время расширяется номенклатура изделий строительного назначения, например тротуарная плитка, керамический кирпич, где требуются добавки определённого гранулометрического состава, которые определяют не только качество и прочность изделий, но и потребительскую цену готового продук­та.

Получение материала с размером частиц 3 - 0,5 мм в традиционных по­мольно-дробильных машинах, в том числе и конусных дробилках в открытом цикле измельчения приводит к значительным энергетическим расходам. Как у нас, так и за рубежом не известна помольно-дробильная машина, которая позволяет в открытом цикле измельчения получить продукт размером 3 - 0,5 мм, поэтому оптимизация конструктивно-технологических параметров и ма­шин на их основе, для получения такого продукта, является весьма актуаль­ной.

Возросшие требования к качеству продукта измельчения, его грануло­метрическому составу и получаемой на его основе продукции, заставляют учёных, исследователей и производителей оборудования искать пути совер­шенствования измельчительной техники за счёт максимального приближения процессов измельчения к оптимальным параметрам их протекания.

На современном этапе развития науки и техники вряд ли следует ожи­дать каких-либо «прорывов» в любой отрасли промышленности при исполь­зовании традиционных технологий и физических методов воздействия на пе­рерабатываемый материал и создание новых видов помольно-дробильного оборудования.

Современные помольно-дробильные машины как отечественного, так и зарубежного производства, используют следующие основные способы воз­действия на материал: раздавливание, удар, истирание, раскалывание, излом,

резанье и различные способы их сочетания. Но не одна из известных по­мольно-дробильных машин не может одновременно удовлетворить предъяв­ляемым к ней требованиям таких как: минимальная стоимость измельчитель- ной машины, максимально возможная производительность, минимальная ма- териало- и энергоёмкость, возможность простого регулирования качеством продукта, а также простота в обслуживании [4,7,12,18,20,38,39,49,58,83,85,86].

На сегодняшний день машиностроительными заводами России и зару­бежных стран освоен выпуск машин и оборудования, применяемого в про­мышленности производства строительных материалов, различного типа и на­значения.

Среди помольно-дробильных машин большую группу представляют ко­нусные дробилки, характеризуемые непрерывностью цикла измельчения и способностью к переработке высокопрочных и абразивных материалов, та­ких как гранит, доменный шлак, щебень, известняк высокой абразивности и т.д. Конусные дробилки нашли широкое применение в промышленности строительных материалов, как одного из основного технологического вида оборудования, применяемого на всех стадиях переработки сырья и материа­лов [4,7,12,38,49,90,98,99,113]. На практике в настоящее время при измельче­нии различных материала в традиционных конусных дробилках в большин­стве случаев невозможно достичь требуемой крупности продукта, что выну­ждает организовывать замкнутый цикл, с выделением готового продукта. Для реализации замкнутого цикла необходимо применение дополнительного оборудования, что резко увеличивает металлоемкость и сложность техноло­гического процесса, а также приводит к увеличению стоимости готового продукта [5,59,68,98,108].

Среди конусных дробилок особое внимание обращают на себя конусные инерционные дробилки (КИД), в которых организован процесс внутрислой- ного принудительного самоизмельчения. Измельчение в КИД происходит под действием сжимающих усилий инерционного характера и импульсных сдвиговых нагрузок [15,18,22,24,26,30,34,43,48,52,106].

Конусные инерционные дробилки являются сравнительно новым типом измельчителей, разрабатываемые в течение последних шести десятилетий [55].

К достоинствам конусных инерционных дробилок следует отнести ма­лую металлоёмкость на единицу производительности, низкую удельную энергоемкость, отсутствие тяжёлых фундаментов. Они хорошо себя зареко­мендовали при дроблении хрупких материалов, а также при производстве щебня [22,23,26,50,92,103,109].

Вопросы повышение технико-экономических показателей конусных дробилок, повышение их производительности, как одно из основных направ­лений эффективности производства, всегда находились в центре внимания учёных, конструкторов и исследователей. Не составляют исключение и ко­нусные инерционные дробилки. Парк их непрерывно возрастает одновре­менно с ростом размера дробилок и их производительности.

Многие конструкторы отмечают о необходимости развития исследова­ний конусных инерционных дробилок с целью оптимизации процесса внут- рислойного принудительного самоизмельчения и на этой основе расшире­ния технологических и эксплуатационных возможностей дробилок данного типа [15,28,64,68,71].

На наш взгляд это возможно осуществить на основе разработки и анали­за математической модели рабочего процесса, при оптимальных геометриче­ских параметрах камеры дробления и режимах работы дробилки, учитываю­щих физико-механические свойства измельчаемого материала.

Моделирование процесса дробления в конусных дробилках должно иметь конкретное практическое значение. Наиболее важными из показателей, характеризующих этот процесс, следует считать: гранулометрический - со­отношения гранулометрического состава исходного продукта и продукта дробления, энергетический - силовая реализация процесса дробления и тех­нологический - производительность общая или по различным классам.

Определённый интерес представляют математические модели рабочего процесса с ограниченными частными задачами. Такие математические моде­ли позволяют производить оптимизацию рабочего процесса и делать сравни­тельный анализ технологических показателей от конфигурации камеры дробления совместно с режимными параметрами её работы.

В связи с этим для определение рациональных параметров протекания процесса дробления в конусных инерционных дробилках, нами предполага­ется путём теоретических и лабораторных исследований установить функ­циональную и численную зависимость этих показателей с конструктивными параметрами и режимами работы дробилки, с дальнейшей их оптимизацией для получения материала требуемого класса крупности.

**Целью настоящих исследований** является, оптимизация процесса из­мельчения в конусной инерционной дробилке на основе анализа её матема­тической модели и усовершенствования конструктивно-технологический па­раметров камеры дробления.

**Научная новизна работы** представлена **математическим выражени­ем** по определению дробящего усилия в зоне параллельности, с учётом массы подвижного конуса и дебаланса, частоты вращения дебаланса и угла обкаты­вания подвижного конуса; **аналитическим выражением** для расчёта сред­него диаметра продукта дробления в зависимости от среднего диаметра ис­ходного материала с учётом физико-механические свойства измельчаемого материала и конструктивно-технологических параметров конусной инерци­онной дробилки; **математической методикой расчёта** расхода измельчае­мого материала, с учётом его физико-механических свойств и конструктив­но-технологических параметров конусной инерционной дробилки; **уравне­ниями регрессии** для определения производительности конусной инерцион­ной дробилки по исходному материалу и производительности по товарному продукту, потребляемой дробилкой мощности и удельным расходом элек­троэнергии по товарному продукту, учитывающие угол наклона образующей подвижного конуса, длину зоны параллельности, ширину разгрузочной щели и частоту качания подвижного конуса.

**Практическая ценность работы** заключается в разработке методики расчёта конструктивно-технологических параметров конусной инерционной дробилки, а также в разработке рекомендаций по организации рационального процесса дробления щебня.

**Реализация работы.** Диссертационная работа выполнялась в Белгород­ском государственном технологическом университете имени В.Г. Шухова в рамках Международной научно-технической программы «Инновационная деятельность высшей школы».

Основные результаты исследований докладывались на научно­технических конференциях, проводимых в БГТУ им. В.Г. Шухова: II Между­народном студенческом форуме «Образование, Наука, Производство» (май 2004 г.), Международной научно-практической конференции «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» в 2005 г и Международной научно-практической конференции «Научные ис­следования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндуст­рии» в сентябре 2007 г.

**Публикации.** По результатам работы опубликовано 8 печатных статей, в том числе две в центральном издательстве рецензируемого ВАК РФ.

**Объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, содержащего основные выводы, рекомендации и направления дальнейших исследований. Работа включает 149 страниц машинописного текста, 9 таблиц, 56 рисунков, список литературы из 114 наименований на 11 страницах.

**На защиту выносится;**

1. Математическое выражение по определению дробящего усилия в зо­не параллельности, учитывающего конструктивно-технологические па­раметры конусной инерционной дробилки: массы подвижного конуса и дебаланса, частоту вращения дебаланса и угол обкатывания подвижно­го конуса;
2. Аналитическое выражение для расчёта среднего диаметра продукта дробления в зависимости от среднего диаметра исходного материала, с учётом физико-механических свойств этого материала и конструктив­но-технологических параметров конусной инерционной дробилки;

-9­3. Математическая методика расчёта расхода измельчаемого материала с учётом его физико-механических свойств и конструктивно­технологических параметров конусной инерционной дробилки;

1. Уравнения регрессии по определению производительности конусной инерционной дробилки по исходному материалу и производительности по продукту товарной фракции, потребляемой мощности и удельному расходу электроэнергии для продукта товарной фракции, учитывающие угол наклона образующей подвижного конуса, длину зоны параллель­ности, ширину разгрузочной щели и частоту качания подвижного ко­нуса.

 Результаты оптимизации конструктивно-технологических парамет­ров работы конусной инерционной дробилки и режимы процесса дроб­ления щебня, использованные в промышленном внедрении в ОАО «За­вод ЖБК-1» (г. Белгород).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ существующих конструкций конусных дробилок, ос­новные направления их развития и возможные пути совершенствова­ния, среди которых выделен класс конусных инерционных дробилок (КИД), которые в свете современных технологий производства строи­тельных материалов, являются одними из наиболее перспективных дробильных машин применяемых как в крупнотоннажных, так и в мелкотоннажных производствах.
2. На основе анализа выдвинута гипотеза, идея, которой заключается в повышении эффективности работы КИД за счёт оптимизации процес­са измельчения на основе анализа её математической модели и усо­вершенствования конструктивно-технологических параметров каме­ры дробления.
3. На основе теоретического анализа получены: аналитическое выра­жения определение дробящей силы конусной инерционной дробилки зависящее от конструктивно-технологических параметров, уравнение, выражающее зависимость среднего диаметра продукта дробления от физико-механических свойств измельчаемого материала и конструк­ционно-технологических параметров конусной инерционной дробил­ки, а также уравнение, выражающее зависимость производительности от конструкционно-технологических параметров дробилки.
4. В лабораторных условиях проведена экспериментальная проверка разработанных теоретических моделей.
5. На основании реализации плана многофакторного эксперимента по­лучены уравнения регрессии: (*Q,Qr,P,qT) = f{a,L,b,n).* Выявлено

влияние исследуемых факторов на формирование функций отклика. Дана оценка влияния, как отдельных факторов, так и эффектов взаи­модействия на уровни параметров оптимизации.

1. Решена задача оптимизации. Установлены оптимальные конструк­тивные параметры камеры дробления и рациональные режимы про­цесса измельчения конусной инерционной дробилке, при которых выполняются условия их протекания: *а =* 60°; 1 = 6мм; 6 = 2мм;

и = 2550мин'1.

1. Проведено промышленное внедрение результатов работы в услови­ях ОАО « Завод ЖБК-1», (г. Белгород) в открытом цикле измельчения на дробилки КИД-600 при измельчении щебня используемого в каче­стве заполнителя при производстве тротуарной плитки. Установлено, что с внедрением результатов работы процент выхода товарной фракции вырос с 41,8% до 56,8% при одновременном снижении удельных энергозатрат на 12,3 *%.*
2. Экономический эффект от внедрения результатов работы в условиях ОАО « Завода ЖБК-1» при производстве заполнителя для тротуарной плитки (в ценах по г. Белгороду на март 2007 г.) составил 232,7 тыс. руб. в год.

**-136-**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 596280 СССР, МКИ В 02 С 2/00. Конусная инерционная дробилка/ К.А. Рундквист, Н.А. Иванов, Б.Г. Иванов, Л.П. Зарогатский. - № 1422777/29 - 33; заявл. 04.03.70; опубл. 03.05.78, Бюл. №9.
2. А.с. 1576196 СССР, МКИ В 02 С 2/02. Конусная инерционная дробил­ка/ В.Ф. Слесаренко, Л.П. Зарогатский.. - № 4444063/23 - 33; заявл. 06.21.88; опубл. 07.07.90, Бил. №25.
3. Алёхин А.Г. Определение производительности конусных дробилок /
4. Г Алёхин., И.Л. Водопьянов // Строительные и дорожные машины. -
5. -№2.-С. 30-32.
6. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных иско­паемых / С.Е. Андреев, В.А. Зверевич, В.А. Перов. - М.: Недра, 1980. - 415 с.
7. Андреев С.Е. Закономерности измельчения и исчисления характери­стик гранулометрического состава / С.Е. Андреев, В.В. Товаров, В.А. Перов. - М.: Металлургиздат, 1959. - 427 с.
8. Афанасьев М.М. Динамика рабочего органа конусной дробилки / М.М. Афанасьев, Л.П. Зарогатский, Р.Ф. Нагаев // Машиноведение, 1976. - №6.-С. 8-14.
9. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев,
10. Д. Мартынов. - М.: Машиностроение, 1981. - 324 с.
11. Барабащук В.И. Планирование эксперимента в технике / В.И. Бараба- щук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко. - К.: Техніка, 1984.- 200 с.
12. Баранов В.Ф. Применение технологии мокрого дробления за рубежом /
13. Ф. Баранов // Обогащение руд. - 2000. - №1. - С. 43-48.

Ю.Барон Л.И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Том I. Разрушение резцовых инструментов / Л.И. Барон, Л.Б. Глатман,

1. К. Губенков. - М.: Наука, - 1968.

П.Барзуков О.П. Уточнённый метод расчёта перемещения материала в камере дробления конусных дробилок / О.П. Барзуков, Н.А. Иванов, Я.М. Кацман // Обогащение руд. - 1983. - №4. - С. 3-4.

1. Бахталовский И.В. Механическое оборудование керамических заводов: Учебник для техникумов промышленности строительных материалов / И.В. Бахталовский, В.П. Барыбин, Н.С. Гаврилов. - М.: Машинострое­ние, 1982.-432 с.