

УДК 622.732

А. В. ГРУЗДЕВ, С. М. БАННИКОВ (ОАО «Уралмашзавод»)

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДРОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОАО «УРАЛМАШЗАВОД»



А. В. ГРУЗДЕВ,  
начальник конструкторского  
отделения



С. М. БАННИКОВ,  
руководитель  
исследовательской группы

*Рассмотрен системный подход к проектированию конусных и щековых дробилок с помощью математического моделирования. Приведены выявленные в результате многолетних исследований закономерности дробления. Выделены основные этапы проектирования дробилок, даны примеры машин, спроектированных в последнее время с применением моделирования, и результаты эксплуатационных испытаний этих машин на различных предприятиях.*

**Ключевые слова:** ОАО «Уралмашзавод», дробильное оборудование, математическое моделирование, проектирование дробилок, эксплуатационные испытания.

В последние годы абсолютное большинство потребителей дробилок, производимых ОАО «Уралмашзавод», покупают не просто «машину», а средство для экономически оптимального решения поставленной технологической задачи. При всем разнообразии этих задач, сложности достижения «контрольных» результатов поставщик оборудования не имеет права на эксперимент и последующую доработку своей продукции, т. е. на все то, что было атрибутами хорошо известного научного подхода при создании нового оборудования. Поставщик уже на стадии заключения контракта вынужден брать на себя немалую материальную ответственность за достижение требуемых результатов.

В этой ситуации специалисты ОАО «Уралмашзавод» все больший акцент делают на применение системного подхода при создании очередных модификаций дробилок. В соответствии с этим подходом решающая роль при создании новых машин отводится моделированию их рабочих процессов в рамках решаемых технологических задач. Результатом моделирования является определение технологических показателей и выбор технических параметров дробилок.

Математические модели начали создаваться в 1970-х годах в лаборатории горных машин Уралмашзавода под руководством

Ю. А. Девяткина — основоположника нового метода расчета и проектирования конусных дробилок. Для построения адекватных математических моделей потребовалось изучение процесса дробления на физических моделях, проведение множества экспериментов, качественное выявление существенных характеристик процесса дробления и количественное их выражение. На это понадобились годы кропотливой работы многих специалистов-исследователей.

В настоящее время в научно-исследовательской группе горного оборудования ОАО «Уралмашзавод» работы по исследованию горных пород и моделированию процессов дробления продолжают и развиваются. Появляются все новые задачи, совершенствуется инструментарий, корректируется системный подход.

Сейчас в ОАО «Уралмашзавод» разрабатывают и широко применяют математические модели процесса дробления горных пород, учитывающие большое число параметров, связанных со свойствами дробимого материала и особенностями кинематики рабочих органов машин. Применение математических моделей процесса дробления позволяет выстроить оптимальный алгоритм создания новых модификаций дробилок для решения технологических задач, поставленных потребителями. К числу наиболее важных за последние несколько лет задач следует отнести следующие:

- получение в открытом цикле продукта крупностью –14(16) мм (по 5%-ному остатку) в узле рудоподготовки;
- производство щебня изометрической (кубовидной) формы в конусных дробилках типа «Саймонс».

Выделим следующие четыре этапа работы по созданию дробилки нового исполнения под конкретную технологическую задачу:

- определение физико-технических свойств горной породы;
- расчет с помощью математической модели силовых, энергетических и технологических показателей для камеры дробления с варьированием ее геометрических параметров;
- оптимизация геометрических и кинематических параметров камеры дробления по силовым, энергетическим и технологическим критериям;
- конструктивная разработка составных частей машины по определенным силовым и энергетическим параметрам камеры дробления.

Главной целью моделирования является возможность прогнозирования с приемлемой точностью технологических показателей

работы дробилок: гранулометрического состава продукта дробления; производительности, а при производстве щебня — и формы куска (содержания в продукте зерен лещадной и игловатой формы) и показателей рабочего процесса дробления: усилия дробления и мощности, потребляемой главным приводом дробилки.

Для разработки математических моделей процесса дробления, наряду с общепринятыми показателями физических свойств горных пород, возникла необходимость введения совокупности свойств, характеризующих специфическое поведение горных пород при внешних воздействиях, присущих данному технологическому агрегату и называемых *физико-техническими свойствами*.

Исследования физико-технических свойств горных пород применительно к их дроблению в конусных дробилках с кинематическим ограничением хода рабочего органа проводятся на Уралмашзаводе с 1965 г. За это время исследовано более 65 разновидностей хрупких, твердых образцов, представляющих собой руды черных, цветных металлов, шлаки и нерудные строительные материалы. По результатам исследований создана соответствующая база данных, получены закономерности, отражающие физическую сущность изучаемых процессов разрушения горных пород однократным статическим сжатием способами «кусок о броню» и «в слое»:

- выявлена устойчивая корреляционная связь гранулометрического состава продукта дробления и относительной деформации куска или слоя; при этом относительная крупность продукта не зависит от исходной крупности, что позволило принять в качестве характеристики дробимости зависимость относительной крупности продуктов разрушения при однократном сжатии в функции относительной деформации;
- установлена устойчивая связь усилия сопротивления сжатию с относительной деформацией и исходной крупностью куска

или слоя; это позволило принять в качестве характеристики прочности зависимость усилия сопротивления сжатию в функции относительной деформации и исходной крупности куска или слоя;

- получены закономерности изменения формы куска.
- Качественно и количественно физико-технические свойства горных пород описываются следующими характеристиками:
- дробимостью, отражающей зависимость относительной крупности продуктов разрушения при однократном сжатии от относительной деформации;
  - прочностью — зависимостью усилия сопротивления сжатию от относительной деформации и исходной крупности куска или слоя;
  - ударным взаимодействием, описывающим потери нормальной и касательной составляющих скорости центра массы куска от скорости и угла падения, формы и состояния контактных поверхностей; полученные закономерности качественно хорошо согласуются с теорией косоугольного удара о препятствие круглых твердых тел при сухом трении в частично упругом пластичном контакте, допускающем полное или частичное скольжение;
  - изменением формы куска или слоя.

Для определения физико-технических свойств исследуемого материала формируется проба, разрушаемая на прессе статическим сжатием. На основании диаграмм сжатия с учетом рассеяния определяется прочность материала. Рассев продукта разрушения одиночных кусков или слоя на ситах позволяет задаться дробимостью. С помощью ручного обмера исходных кусков и продукта разрушения определяется изменение формы. Все вышеприведенные характеристики связываются с процессом дробления в конкретной машине через контролируемый параметр — относительную деформацию. Чтобы определить относительную деформацию конкретных кусков или слоя в камере дробления, необходимо знать

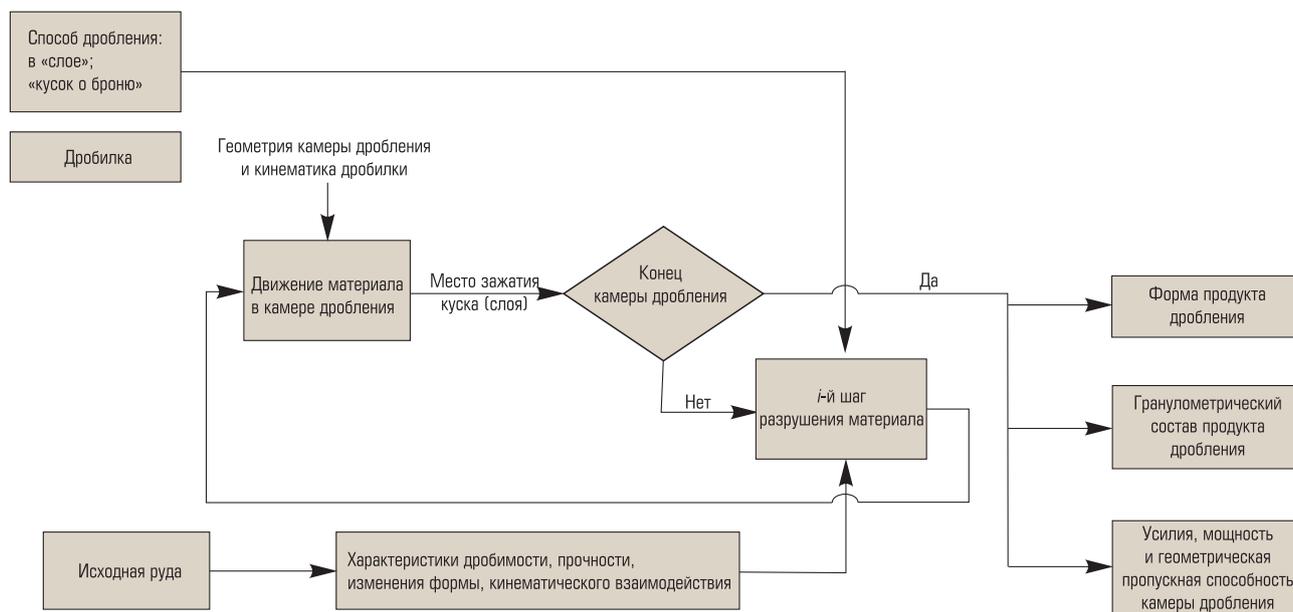
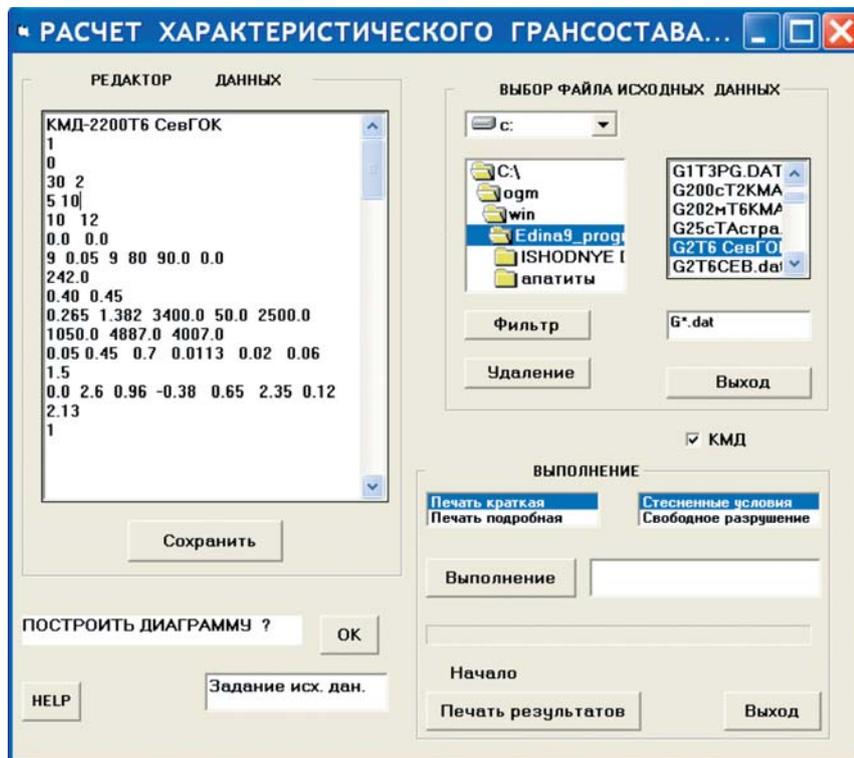
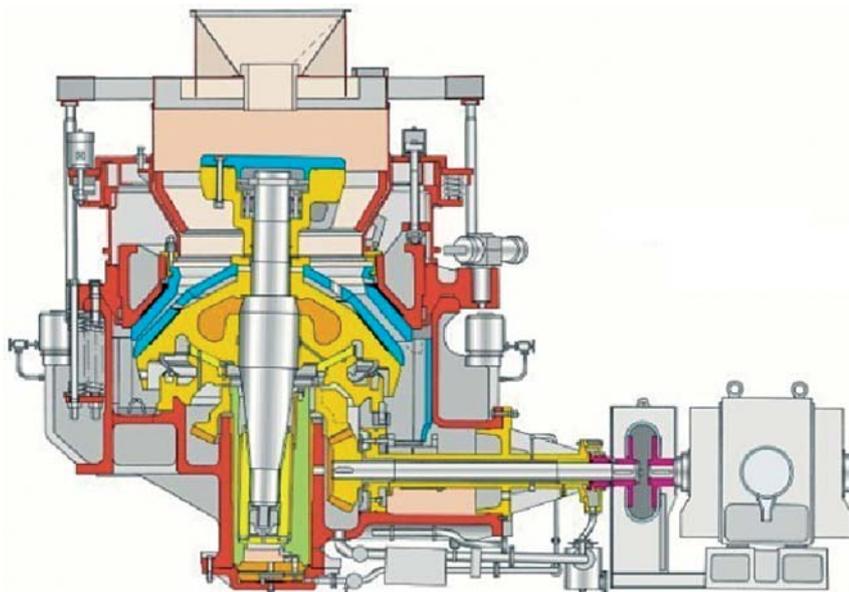


Рис. 1. Блок-схема процесса дробления



**Рис. 2.** Программа расчета гранулометрического состава



**Рис. 3.** Дробилка КМД-2200Т6-Д

параметры движения материала в камере. С этой целью на сконструированном в лаборатории приборе определяют потери скорости при ударе куска о броню — характеристики ударного взаимодействия и коэффициент трения скольжения куска по броне.

Механическое дробление горных пород статическим сжатием — это случайный процесс, и адекватное описание его возможно лишь моделями со статистическим распределением па-

раметров. Поэтому при описании процесса дробления используется детерминированно-статистический метод. При определенных геометрических и кинематических параметрах камеры дробления взаимодействие рабочих органов с дробимым материалом описывается детерминированными функциями, параметры которых определяют статистическую природу этого взаимодействия.

Модели статистических процессов содержат случайные компоненты, но их изменения описываются в зависимости от некоторого неслучайного параметра. В дробильных машинах с кинематическим ограничением хода рабочего органа контролируемым параметром является его (рабочего органа) перемещение, приводящее к деформации дробимого материала.

Процесс разрушения горных пород в камере дробления при взаимодействии дробимого материала (куска или слоя) с рабочим органом рассматривается по частям — движение, ударные взаимодействия, раздавливание — и изучается на моделях, соответствующих этим элементам процесса.

Математическое описание процесса дробления горных пород, представляющее собой последовательное описание разрушения материала и его продуктов по мере продвижения по камере дробления и классификации на ситах, выполнено с использованием вероятностной аналогии. При этом процесс дробления горной породы представляется в виде многошагового случайного процесса, в котором каждый предшествующий исход может иметь несколько последующих исходов (рис. 1).

В соответствии с допущением о независимости дробления отдельных фракций при разрушении материала способом «кусок о броню» продукт дробления смеси определяется суммой продуктов дробления узких классов с учетом их содержания в исходной смеси. Гранулометрический состав продукта разрушения смеси «в слое» при однократном сжатии определяется в зависимости от

относительной объемной деформации слоя по характеристикам его дробимости с учетом эффективности разрушения фракции в смеси.

Модель дробления, связывающая дробилку (с конкретными параметрами) и дробимый материал, разрушаемый в дробилке, реализована в виде пакета компьютерных программ собственной «уралмашевской» разработки (рис. 2).

В результате моделирования создается возможность определения показателей работы конкретного дробильного агрегата на конкретном материале, с высокой точностью определяются оптимальные конструктивные параметры камеры дробления и прогнозируются показатели работы дробилки. В качестве варьируемых параметров конусных дробилок выступают:

- рабочие профили подвижной и неподвижной броней;
- эксцентриситет (рабочий ход дробящего конуса);
- число качаний дробящего конуса;
- параметры загрузочного устройства.

Применение математических моделей процесса дробления в конусных дробилках позволяет специалистам ОАО «Уралмашзавод» решать сложные технологические задачи и находить наилучшие конструкторские решения как при проектировании новых машин, так и для модернизации существующих. В качестве последних успешных примеров решения таких задач стоит отметить создание следующих конусных дробилок:

КМД-2200Т6-Д (рис. 3) для тонкого дробления; дробилки поставлены на Михайловский, Северный, Ингулецкий, Южный ГОКи; промышленные испытания дробилок подтвердили их расчетные технологические параметры;

КМД-2200Т7-Д для производства продукта изометрической формы; дробилки поставлены для V технологической линии ДСЗ РУПП «Гранит» (Микашевичи, Республика Беларусь); технологические испытания дробилок свидетельствуют о выполнении ими своего основного назначения — получения кубовидного щебня мелких фракций.

В настоящее время ставится задача создания математических моделей для расчета параметров щековых дробилок и конусных дробилок типа ККД–КРД. 

*Груздев Андрей Викторович,  
Банников Сергей Михайлович:  
e-mail: gruzdev@uralmash.ru*

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 18–21	
<b>Title</b>	<b>Approach to designing of crushing equipment at JSC «Uralmashplant»</b>
<b>Author 1</b>	Name & Surname: <b>Gruzdev A. V.</b>
	Company: <b>Urals Machine-Building Plant (Uralmash) (Ekaterinburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Head of Design Department</b>
	Contacts: <b>e-mail: gruzdev@uralmash.ru</b>
<b>Author 2</b>	Name & Surname: <b>Bannikov S. M.</b>
	Company: <b>Urals Machine-Building Plant (Uralmash) (Ekaterinburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Head of Research Group</b>
	Contacts: <b>e-mail: gruzdev@uralmash.ru</b>
<b>Abstract</b>	<p>The authors discuss issues of cone and jaw crusher designing. It is difficult to carry out trials under conditions of the present day, and a supplier has to take responsibility for the fulfillment of contractual obligation. In this respect, Uralmash extensively uses mathematical modeling in the machine designing. The aim of the modeling is to define production data of a crusher to meet particular challenges. As a result of the long-continued research, a set of properties of crushed materials has been sorted and named as the physico-technical properties. Kinematics of a crusher is described and related with a crushed material in terms of the crushing process parameters.</p> <p>Design of a crusher takes four stages:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Definition of physico-technical characteristics of a type of rock;</li> <li>Mathematical model-based calculation of force, energy and production data of crushing chamber;</li> <li>Optimization of geometry and kinematics parameters of the crushing chamber;</li> <li>Rational design of component elements of the machine.</li> </ul> <p>Uralmash practices this approach in engineering design of all new machines, including fine crusher KMD-2200T6-D and gravel crusher KMD-2200T7-D. The tests conducted have shown a good conformity between the data of modeling and experiment.</p>
<b>Keywords</b>	Uralmash, crushing equipment, mathematical modeling, crusher design, commercial tests.