

*И. В. Яковлев, А. Ю. Бакулин, С. В. Карпушкин*

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА И РАСЧЕТА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ТВЕРДЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Измельчение твердого сыпучего сырья и продуктов широко применяется в химической, горнодобывающей, пищевой промышленности, производствах строительных материалов. Вопрос о конструкции дробилки или мельницы, наиболее подходящей для измельчения того или иного материала, требует решения при разработке технологических схем проектируемых производств и при изменении ассортимента продукции действующих предприятий. В данной работе предлагается формулировка и алгоритм решения задачи выбора и расчета машины для измельчения материала с заданными свойствами, дается описание информационной системы выбора и расчета серийно выпускаемых измельчителей.

Задача заключается в выборе типа машины, ее конструкции и исполнения, наиболее приемлемых для измельчения материала, и последующем определении основных геометрических размеров и числа машин, обеспечивающих требуемую производительность при минимальных приведенных затратах и выполнении условий работоспособности.

Исходными данными для решения задачи являются:

- максимальные линейные размеры наибольших частиц сырья  $d_n$  и продукта  $d_k$  (м);

- требуемая массовая  $G$  (кг/с) или объемная  $V$  (м<sup>3</sup>/с) производительность по продукту;

- свойства измельчаемого материала – коэффициент  $f$  или угол  $\varphi$  внешнего трения (°), плотность  $\rho$  и насыпная плотность  $\rho_n$  (кг/м<sup>3</sup>), коэффициент разрыхления  $\mu$ , предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$  и модуль упругости  $E$  (Па).

Выбор типа машины осуществляется по размерам частиц продукта: при  $d_k \geq 0.005$  м выбирается дробилка, в противном случае – мельница. Подходящие конструкции машин выбираются по значению  $d_n$ , степени измельчения  $i = d_n/d_k$ , производительности и свойствам материала, например, при  $d_n = 1.5-0.5$  м,  $i = 5-10$ , высокой и средней твердости материала подходящими являются щековые (ЩДП, ЩДС) и конусные (ККД, КСД) дробилки, производительность  $V = 0.05$  м<sup>3</sup>/с могут обеспечить дробилки, ЩДП 9х12, ККД-500/75 и КРД 500/60, см. [1-3].

Для всех подходящих конструкций измельчителей выполняется технологический расчет – проверяется выполнение условий работоспо-

способности, определяется число машин, обеспечивающее заданную производительность. Например, условиями работоспособности щековой дробилки являются, см. [2,3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha < 2 \cdot \varphi \\ n \leq n_{\text{п}} \\ B \geq 1.15 \cdot d_{\text{н}} \\ e_* \leq d_{\text{к}} - s / 2 \leq e^* \\ N \leq \eta \cdot N_{\text{п}} \end{array} \right. ,$$

(1)

где  $\alpha$  – угол захвата дробилки ( $^\circ$ ),

$n = \sqrt{g \cdot \operatorname{tg} \alpha / (8 \cdot s)}$ ,  $n_{\text{п}}$  – расчетная частота качаний подвижной щеки

и частота вращения вала привода (1/с),

$s = (a_1 + a_2 \cdot e) \cdot 10^{-3}$  (для ЩДС  $a_1=7$ ,  $a_2=100$ , для ЩДП  $a_1=8$ ,  $a_2=260$ ) – размах качаний подвижной щеки (м),

$e, e_*, e^*$  – ширина выходной щели дробилки и пределы ее регулирования (м),

$B$  – ширина пасти дробилки (м),

$N = 4 \cdot 10^4 \cdot L \cdot H \cdot s \cdot n$ , – затраты мощности на дробление (Вт),

$H = (B - e) / \operatorname{tg} \alpha$ ,  $L$  – высота передней стенки и длина дробилки (м),

$N_{\text{п}}, \eta$  – мощность привода дробилки и ее к.п.д (0.5-0.75).

Расчетная длина дробилки определяется по заданной производительности:  $L_{\text{р}} = G \cdot \operatorname{tg} \alpha / (\rho_{\text{н}} \cdot \mu \cdot n \cdot s \cdot d_{\text{к}})$ , необходимое число дробилок  $Q$  определяется по значению отношения  $L_{\text{р}}/L$ , округленному до большего целого.

Работоспособность шаровой барабанной мельницы (ШБМ, МШР) проверяется с помощью условий, см. [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} n \leq 0.75 \cdot n_{\text{кр}} \\ M_3 \leq M_3^* \\ N \leq \eta \cdot N_{\text{п}} \end{array} \right. ,$$

(2)

где  $n, n_{\text{кр}} = \sqrt{2 \cdot g / D} / 2 \cdot \pi$  – рабочая и критическая частота вращения барабана (1/с),

$$D = \left[ \frac{4 \cdot G}{25.7 \cdot \pi \cdot B \cdot (\varphi_3 \cdot \rho_{\text{ш}} \cdot \mu)^{0.8} \cdot k \cdot q} \right]^{2/7} - \text{необходимый диаметр барабана (м),}$$

бана (м),

$B = L/D$  – отношение длины барабана к его диаметру (принимается в зависимости от модификации мельницы),

$\rho_{\text{ш}}$  – плотность материала шаров ( $\text{кг/м}^3$ ),  
 $\varphi_3, \mu = 0.55-0.6, k = 0.6-0.95$  – коэффициенты заполнения барабана шарами, неплотности их загрузки и тонины помола,  
 $q$  - нормативная удельная производительность мельницы ( $\text{кг}/(\text{Вт}\cdot\text{с})$ ),  
 $M_3 = 0.3 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot \rho_{\text{ш}} \cdot \varphi_3 \cdot \mu, M_3^*$  – масса загрузки барабана и ее предельно допустимое значение ( $\text{кг}$ ),  
 $N = 0.39 \cdot \pi \cdot n \cdot M_3 \cdot g \cdot D$  – затраты мощности на измельчение ( $\text{Вт}$ ),  
 $N_{\text{п}}, \eta$  – мощность привода мельницы и ее к.п.д ( $0.8-0.9$ ).

Необходимый диаметр шаров  $d_{\text{ш}} = 0.006 \cdot \lg(d_{\text{к}} \cdot 10^6) \cdot \sqrt{d_{\text{н}} \cdot 10^3}$  м, число мельниц определяется значением  $G$ : если нет стандартных машин, способных обеспечить заданную производительность, принимается решение об увеличении их числа.

Лучший из приемлемых вариантов аппаратного оформления рассматриваемого процесса измельчения (необходимое число стандартных машин и их типоразмер) определяется с помощью критерия

$$Z = Q \cdot (Z_a + Z_o + Z_s), \quad (3)$$

где  $Z_a, Z_o, Z_s$  – амортизация стоимости одной машины, нормативные расходы на ее обслуживание и стоимость потребленной электроэнергии в течение года (руб.).

Для решения задач поиска минимума критерия (3) при условиях (1), (2) и им подобных для измельчителей других конструкций разрабатывается система автоматизированного выбора и расчета машин для измельчения твердых сыпучих материалов.

Первая версия системы создана в среде MathCAD. Она включает электронные книги, примеры расчетов аппаратов и справочные данные. Электронные книги системы содержат описание методики технологического расчета конусных, щековых, молотковых, роторных и валковых дробилок, барабанных, струйных, молотковых, среднеходных мельниц.

В электронных книгах имеются ссылки на примеры расчетов различных мельниц и дробилок, а также на справочные файлы системы, содержащие информацию об основных характеристиках и областях применения дробилок и мельниц упомянутых конструкций. В справочных файлах системы указываются такие характеристики, как размер аппарата, частота вращения рабочих элементов, наибольший размер кусков в питании, ширина разгрузочной щели, производительность, мощность электродвигателя, масса аппарата и другие. Разделы электронных книг выполнены в виде рабочих файлов MathCAD без присвоения переменным конкретных значений. С использованием этих файлов и файлов примеров расчетов легко сформировать рабочий файл MathCAD для расчета конкретной машины.

В настоящее время разрабатывается вторая версия системы (среда Visual Basic). В ее состав входят:

- информационно-поисковый модуль выбора типа и конструкции измельчителя;
- разработанные на основе [1-3] программные модули технологического расчета дробилок и мельниц;
- модули ввода исходных данных и вывода результатов расчетов в установленной форме;
- электронные каталоги характеристик промышленных аппаратов (тип, геометрия, частота вращения рабочего органа, мощность электродвигателя и т.д.).

В результате работы информационно-поискового модуля определяется тип и конструкции машин, пригодных для измельчения конкретных материалов. Оптимальный вариант аппаратного оформления процесса измельчения материала с заданными свойствами определяется при решении задачи поиска минимума критерия (3) при условиях вида (1), (2) методом перебора.

Учебный вариант первой версии системы используется студентами ТГТУ (специализация 170514 "Гибкие автоматизированные производственные системы в технологии машин и аппаратов химической технологии") при выполнении расчетных заданий по дисциплине "Технологическое оборудование ГАПС", курсовых и дипломных проектов.

### **Список литературы:**

1. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. / Под ред. В.Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
2. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии. Том 2. Механические и гидромеханические процессы / Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2001. – 600 с.

*Кафедра «Автоматизированное проектирование  
технологического оборудования»*