Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.
Энгельсский технологический институт

ИЗУЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Методические рекомендации
к лабораторной работе по курсу «Оборудование в технологии переработки полимеров»
для студентов направления 18.03.01 «Химическая технология»

Энгельс 2024

УДК 667.1
ББК 28.072

Изучение степени измельчения и гранулометрического состава материалов, используемых в химической технологии: Методические рекомендации к лабораторной работе по курсу «Оборудование в технологии переработки полимеров» / Е.В. Бычкова – Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2023– 14 с.

Методические рекомендации к выполнению лабораторной работы «Изучение степени измельчения и гранулометрического состава материалов, используемых в химической технологии по курсу «Оборудование в технологии переработки полимеров». В методических рекомендациях приведены основные понятия о гранулометрическом составе композиционного материала, дана классификация измельчительного оборудования. В экспериментальной части приведены описание лабораторных работ и задания на выполнение опытов, а также методики их проведения.

УДК 667.1
ББК 28.072

Одобрено редакционно-издательским советом
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Брошюра издается в авторской редакции

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Основными свойствами дисперсных наполнителей являются: форма частиц, гранулометрический состав, удельная поверхность, пористость, плотность.

Гранулометрический состав полимерных материалов оценивается по дисперсности и однородности. Дисперсность характеризует размер частиц в единицах длины. С уменьшением размера частиц (повышением дисперсности) увеличивается прочность изделий, уменьшается усадка, увеличивается равномерность окраски при переработке цветных полимерных материалов, возрастают удельная поверхность наполнителя, а, следовательно, протяженность границы раздела фаз и доля граничного слоя.

Дисперсные наполнители по размеру частиц делятся на: крупнодисперсные ($d > 0{,}04$ мм), среднедисперсные ($0{,}04 < d < 0{,}01$), высокодисперсные ($0{,}01 < d < 0{,}001$) и ультрадисперсные ($d < 0{,}001$ мм) [1].

Оптимальными считаются наполнители с размерами частиц от $7 \cdot 10^{-3}$ до $40 \cdot 10^{-3}$ мм.

Для изменения дисперсности сыпучего сырья, вводимого в состав пластических масс, оно измельчается на дробильно-помольных машинах. Под *измельчением* понимают процесс разрушения твердого тела и превращения крупных кусков в мелкие под действием внешних сил. В зависимости от величины частиц исходного материала и размеров частиц в конечном продукте различают грубое измельчение (дробление): крупное дробление - измельчение до кусков размером 200 мм; среднее дробление - измельчение до кусков размером 20-100 мм; мелкое дробление - измельчение до кусков размером 3-20 мм и тонкое измельчение (помол): грубый помол - размер зерен в конечном продукте от 0,1 до 0,3 мм; тонкий помол - размер зерен в конечном продукте меньше 0,1 мм. Основными технико-экономическими показателями работы дробильно-помольных машин являются: степень измельчения, удельный расход энергии на единицу получаемой продукции и производительность машины.

Степенью измельчения называют отношение поперечных размеров кусков исходного материала к поперечным размерам кусков, полученных после измельчения:

$$i = \frac{D}{d} \tag{1}$$

где D - средний размер куска материала до измельчения, мм;

d - средний размер частицы материала после измельчения, мм.

Для определения размеров и фракционного состава используются различные методы, однако наиболее простым является ситовый анализ.

Пробу измельченного сыпучего материала можно разделить на несколько фракций, просеяв навеску через набор различных сит. Число фракций не должно быть менее 5 и более 20. Размеры частиц получаемых фракций ограничены размерами отверстий сита. Под размерами сита обычно понимают длину стороны квадратной ячейки, образуемой переплетением ткани или сетки. Нижняя граница размеров ячеек сит находится около 40 мкм. Самые тонкие сита могут быть использованы только для анализа хорошо просеивающихся (не слипающихся) порошков. Отношение размера ячеек сита к размеру отверстия последующего, более мелкого сита является постоянной величиной и называется *модулем набора сит*. Отношение суммарной площади отверстий к общей поверхности сита также остается постоянным и равным 36% для всего ряда сит.

Полный ситовый анализ для определения дисперсности при машинном рассеве проводят в следующем порядке: анализируемую пробу помещают на сито с наибольшими размерами ячеек в используемом наборе. Материал, прошедший через сито (так называемый «проход»), падает на следующее, более тонкое, и так до последнего, самого тонкого. Обычно при рассеве сита ставят друг над другом и разделяют пробу на фракции за одну операцию.

Основной характеристикой проволочных сеток является номинальный размер стороны ячейки в свету (мм).

Сетки из сплавов цветных металлов контрольные с квадратными ячейками имеют номинальный размер стороны ячейки в свету (мм):

2,5 - 2,0 - 1,6 - 1,25 - 1,0 - 0,9 - 0,7 - 0,63
0,56 - 0,5 - 0,45 - 0,4 - 0,355 - 0,315 - 0,28 - 0,25
- 0,224 -0,2 - 0,18 - 0,16 - 0,14 - 0,125
0,112 - 0,1 - 0,09 - 0,08 - 0,071 - 0,063
0,056 - 0,05 - 0,045 - 0,04

На основании гранулометрического состава, т.е. количественного распределения зерен по крупности, определяют средние размеры зерен:

$$d_{cp}=m_1d_1+m_2d_2+\ldots\ldots+m_nd_n=\Sigma m_id_i, \qquad (2)$$

где $m_1, m_2, \ldots\ldots m_n$ – содержание каждой фракции в пробе дисперсного материала, массовые доли;

$d_1, d_2, \ldots. d_n$ – средний размер частиц данных фракций (среднеарифметическое значение отверстий сита, через которое данная фракция прошла, и сита, на котором она задержалась), мкм;

i – число фракций.

По расходуемой энергии, по стоимости ремонта и замены быстроизнашивающихся дробящих частей, по первоначальной стоимости самого измельчающего оборудования, требующего высококачественных материалов, процесс измельчения - один из наиболее дорогостоящих.

Для каждой стадии измельчения применяют свои конструктивные типы машин.

Существуют следующие основные способы измельчения материала: раздавливание, удар, истирание, раскалывание или сочетание указанных способов, реализуемые на оборудовании, приведенном в таблице 1.

Таблица 1

Основные виды оборудования для дробления

Тип оборудования	Размер частиц материала, мм		Производительность, т/ч	Расход энергии на 1 т продукции, МДж	Назначение
	до дробления	после дробления			
Валковые дробилки с гладкими валками	Толщина 6-70, длина не ограничена	6-16	3-150	2,6-3,96	Дробление жестких и хрящевидных частиц в пластичных смесях
Валковые дробилки с рифлеными валками	Толщина 70-400, длина не ограничена	50-100	5-1000	0,54-1,3	То же
Шаровые мельницы	0,6-25	0,075	0,8	0,5-75	Измельчение хрупких и термочувствительных материалов, для совмещения процессов измельчения и смешения
Роторные дробилки	2-250	0,35-3	0,2-600	1,3-26	Измельчение высокопрочных материалов малой и средней абразивности с возможным отделением пылевидных частиц
Молотковые дробилки	0,8-1000	0,045-50	0,05-400	2,6-530	Измельчение подогретых, охлажденных мягких и твердых материалов

По конструкции и принципу действия дробилки разделяются на:

1. щековые с простым (рис.1, а) и сложным (рис. 1, б) качанием подвижной щеки; в этих дробилках материал раздавливается и раскалывается

между неподвижной 1 и подвижной 2 щеками в результате периодического их сближения; в дробилках со сложным качанием щеки материал еще и истирается;

2. конусные (рис.1, в), в которых материал раздавливается и частично изгибается между двумя конусами; внешний конус 1 неподвижен, а внутренний (дробящий) 2, посаженный на вертикальный вал 3, движется по окружности эксцентрично по отношению к внешнему конусу; в конусных дробилках продукт измельчается непрерывно;

3. валковые (рис.1, г), в которых материал раздавливается и частично истирается между двумя валками 1 и 2, вращающимися один навстречу другому;

4. молотковые (рис.1, д), в которых материал дробится при ударе его молотками 1, свободно подвешенными на быстровращающемся роторе 2, и частично истирается;

5. бегуны (рис.1, е) - предназначаются для мелкого дробления и грубого помола; материал раздавливается и истирается между двумя вращающимися катками 1 и чашей 2.

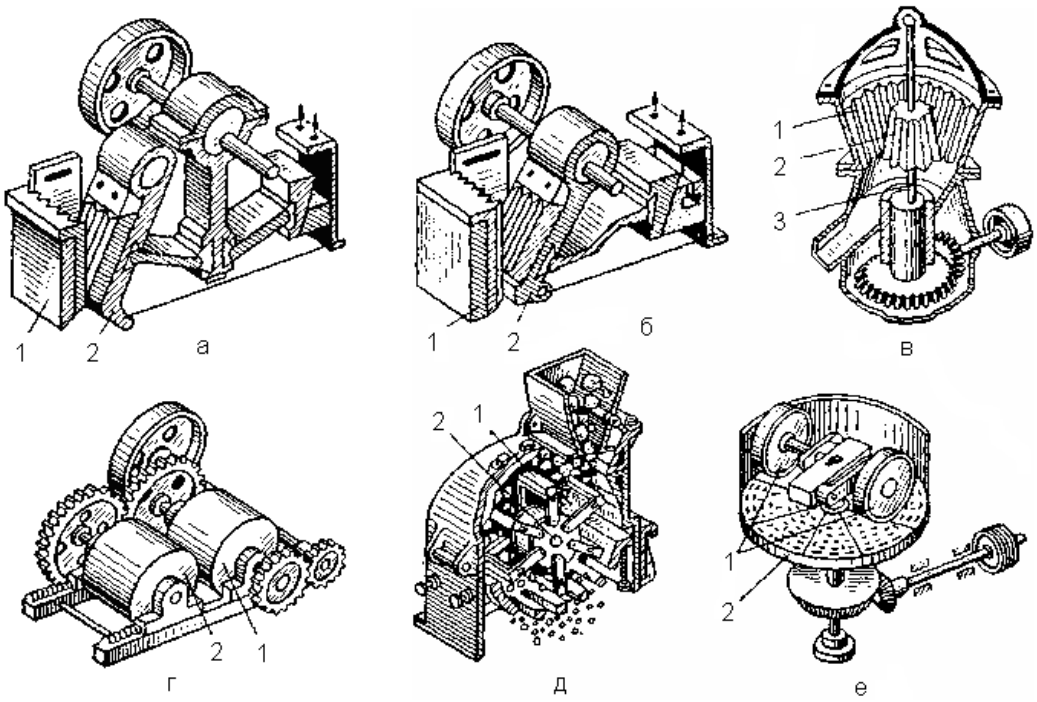

Рис. 1. Дробилки: а - щековая (с простым качанием щеки);
б - щековая (со сложным качанием щеки); в - конусная; г - валковая;
д - молотковая; е – бегуны

Кроме того, для измельчения используются мельницы. По конструкции и принципу действия различают следующие основные их типы:

1. барабанные (шаровые и стержневые), предназначенные для тонкого измельчения (рис.2, а). Барабан 1 приводится в движение от электро-

двигателя 2 через редуктор 3;

2. роликовые маятниковые, предназначенные для размола материала (рис. 2, б), в которых материал раздавливается между неподвижным кольцом 1 и быстровращающимися роликами 2, шарнирно соединенными с крестовиной 3, укрепленной на вертикальном валу 4;

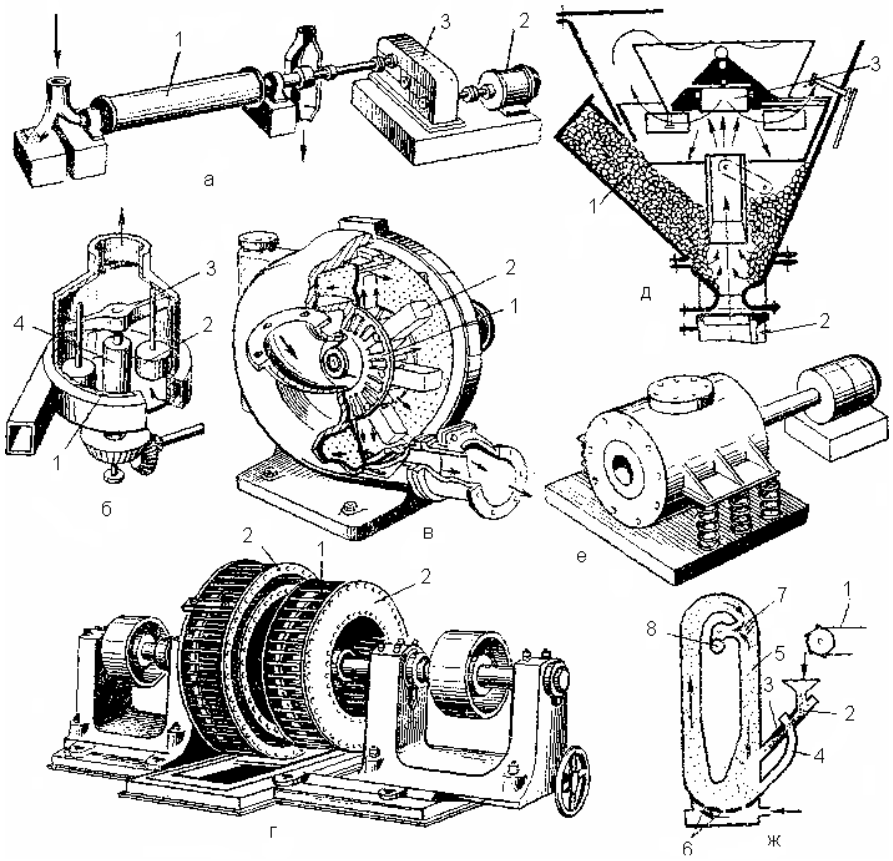

Рис. 2. Мельницы:
а - барабанная; б - ролико-маятниковая; в - молотковая; г - дезинтегратор;
д - пневматическая; е - вибрационная; ж - струйная

3. молотковые (ударные), предназначенные для размола материала и в некоторых случаях с одновременной подсушкой его. Молотковые мельницы изготовляются с жестко закрепленными или с шарнирно (свободно) подвешенными (рис.2, в) на роторе 1 молотками 2. К этой группе относятся и дезинтеграторы (рис.2, г), измельчение в них происходит при ударе частиц о пальцы 1, закрепленные в дисках 2, при ударе частиц одна о другую и отчасти при истирании;

4. пневматические, предназначенные для тонкого измельчения (рис.2, д), в которых материал измельчается при ударе. Кусочки 1 материала, подлежащие измельчению, подхватываются воздухом, который нагнетается через сопло 2, летят со скоростью 20-80 м/сек и ударяются о размольную плиту 3, а также одни о другие;

5. вибрационные (рис.2, е), применяемые для тонкого и сверхтонкого

помола материалов;

6. струйные (рис. 2, ж), предназначенные для сверхтонкого помола. Размол в них происходит за счет соударения частиц материала, находящихся в турбулентном воздушном потоке. Частицы материала ленточным питателем 1 подаются в приемный бункер. Далее материал по трубе 2 поступает в зону диффузора 3, где он подхватывается воздухом, поступающим по трубе 4. Затем материал подается в корпус 5 мельницы, выполненной в виде трубы эллиптической формы. В нижней части корпуса имеются сопла 6, через которые поступает воздух.

Скорость воздуха в соплах доходит до 466 м/сек, чтобы обеспечить указанную скорость, воздух подогревают, вследствие этого снижается его вязкость. Кроме того, подогретый воздух подсушивает материал. Воздух, поступающий в корпус мельницы, подхватывает частицы материала и заставляет их циркулировать в трубе. Частицы, двигаясь в турбулентном воздушном потоке, интенсивно измельчаются, ударяясь одна о другую и о стенки корпуса.

Отработанный воздух с частицами готового продукта проходит через классифицирующее жалюзийное устройство 7 и далее через выходное отверстие 8 поступает в устройство для осаждения. Наклон лопаток жалюзийного устройства можно регулировать и тем самым достигать требуемой тонины помола. Классификация по крупности зерен отходящего продукта происходит следующим образом. В потоке воздуха с частицами материала различных размеров, движущегося по верхнему закругленному участку, происходит частичная сепарация материала. Более крупные частицы, обладающие большей массой, под действием центробежных сил отлетают к наружной стенке корпуса и продолжают свой путь в трубе, а менее крупные, скапливающиеся у внутренней стенки, увлекаются отходящим потоком и выносятся наружу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение процесса измельчения и гранулометрического состава компонентов полимерных материалов

Цель работы - практическое ознакомление с устройством и работой измельчающих машин и механического встряхивателя; измельчение материала в шаровой мельнице; проведение ситового анализа, определение гранулометрического состава исходного и измельченного продукта и расчет степени измельчения шаровой мельницы.

Порядок выполнения работы

Для ситового анализа используют механический встряхиватель (рис.3), который состоит из набора сит 2, устанавливаемых на столике 3. Сита накрывают крышкой 1 и закрепляют винтами 8. На станине 5 смонтирован электродвигатель 6, который приводит во вращение эксцентриковый вал 4. Кроме вращательного движения столик 3 производит возвратно-поступательное движение при помощи кулисы 7. Для встряхивания сит в вертикальном направлении по крышке 1 периодически ударяет рычаг 9.

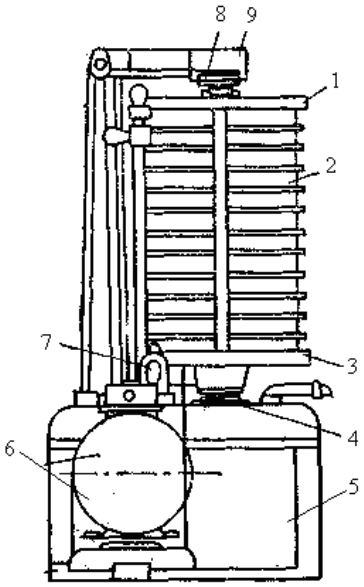

Рис.3. Схема прибора 028М для механического рассева:
1 - крышка; 2 - набор сит; 3 - столик; 4 - эксцентриковый вал; 5 - станина;
6 - электродвигатель; 7 - кулиса; 8 - винт; 9 – рычаг

Навеску порошкообразного материала (100 - 200 г) помещают на верхнее сито, закрывают крышкой 1 и закрепляют винтами 8 на столике 3 установки механического рассева. Включают электродвигатель 6 и производят просев в течение 20-30 мин. После окончания просева каждую фракцию с соответствующего сита взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г и заносят в отчетную таблицу 2. Суммарная масса всех фракций не должна отклоняться от массы исходной навески, взятой для анализа, более чем на 2%.

Таблица 2

Номер сита	Средний размер зерен на сите, мм	Содержание зерен по фракциям		Интегральные характеристики			
				остаток на сите		проход через сито	
		m_i, г	%	г	%	г	%
Итого							

Для измельчения материала используют шаровую мельницу сухого помола (рис.3).

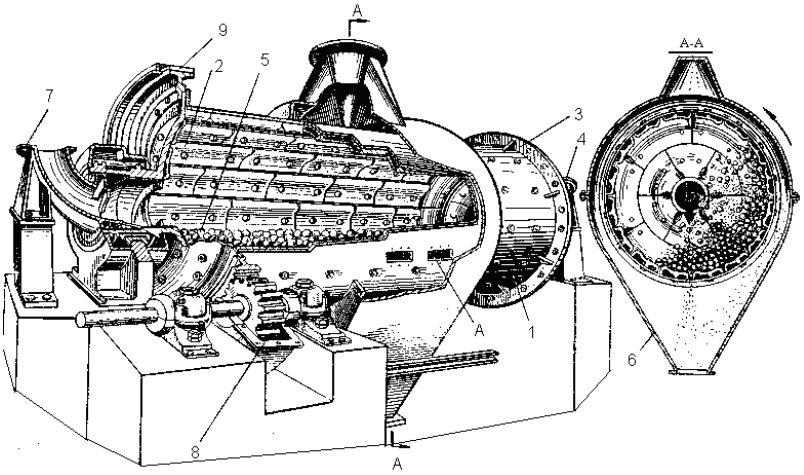

Рис. 3. Шаровая мельница:
1 - цилиндрической барабан; 2 -футерованные броневые плиты; 4 - загрузочная пустотелая цапфа; 5 - днище; 6 - приемник; 7 - левая цапфа; 8,9 - зубчатые колеса

Материал в мельнице измельчается ударом и частично истиранием благодаря перекатыванию (скольжению) мелющих тел.

Мельница (рис.3) состоит из цилиндрического барабана 1, футерованного броневыми плитами 2, и двух днищ 5. Материал непрерывно поступает через загрузочную пустотелую цапфу 4 и измельчается мелющими телами 5. Измельченный продукт просыпается через отверстия А в приемник 6, откуда подается в сепарирующие установки. Материал, требующий повторного измельчения, подается в мельницу через левую цапфу 7. Барабан приводится от электродвигателя через зубчатые колеса 8 и 9.

Взвешивают около 100 г крупных кусков исходного материала, например, фенолоформальдегидной смолы, и эту порцию измельчают в шаровой мельнице. Измельченный материал собирается в приемник и проводится ситовый анализ.

По окончании рассева взвешивают остаток на каждом сите, включая также и материал, попавший в донышко. Результаты взвешивания вносят в отчетную таблицу 2.

Таблица 2

Результаты ситового анализа и определение суммарного остатка на ситах

Отверстие сит, мм	Ситовой анализ продукта после шаровой мельницы		
	г	%	суммарный остаток (сверху по ситам)

Обработка результатов

Результаты ситового анализа представляют графически в виде:

-дифференциальной кривой распределения, показывающей процентное содержание отдельных фракций в материале;

-интегральной (кумулятивной) кривой распределения, изображающей суммарное процентное содержание всех фракций меньше (проход) или больше (остаток) данного размера (рис.4).

Фракция, представленная на графике точкой (рис.4), соответствует среднему размеру зерен в ней, определенному как среднее арифметическое между размерами двух соседних сит (через одно отверстие прошла, на другом задержалась).

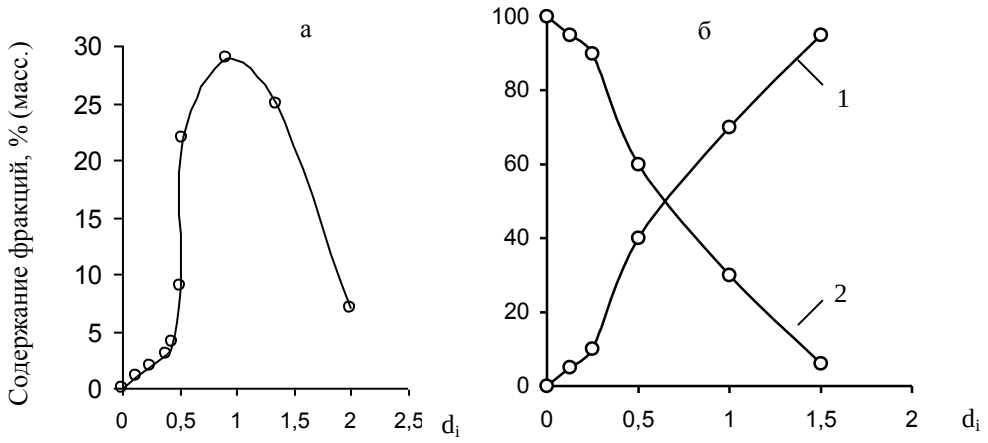

Рис.4. Результаты ситового анализа: а - дифференциальная кривая распределения; б - интегральная кривая распределения; 1 – проход; 2 – остаток на сите

Процентное содержание материала во фракции определяют из соотношения:

$$X = \frac{m_i}{m_0} \cdot 100 \ , \qquad (3)$$

где m_i – масса материала оставшегося на сите, г;

m_0 – общая масса всех фракций, равная исходной навеске.

Средний размер частиц рассчитывают по формуле (2).

Характеристикой однородности состава дисперсного материала служит *коэффициент отклонения* R_0, определяемый следующим образом: из размера отверстий сита d_{84}, отвечающего содержанию 84% на интегральной кривой остатков, вычитают размер отверстия d_{16}, соответствующих содержанию 16% на этой же кривой; полученную разность делят на удвоенный диаметр d_{50} и умножают на 100, т.е.

$$R_0 = \frac{d_{84} - d_{16}}{2d_{50}} \cdot 100. \qquad (4)$$

Таким образом, при определении R_0 из общей массы анализируемого материала (навески) отбрасывают 16% наиболее мелких и наиболее крупных фракций и в расчете принимают только оставшиеся 2/3 сыпучего материала. Чем меньше коэффициент R_0, тем однороднее продукт.

Степень измельчения валковой дробилки определяют по формуле (1).

В *отчет о работе* должен содержать: а) задание; б) схему установки со спецификацией; в) таблицы с результатами работы; г) графики, отражающие зерновые характеристики материала.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют сыпучие материалы в зависимости от размеров частиц?
2. Какими величинами можно характеризовать дисперсность измельченного материала?
3. Какие процессы называют дроблением и измельчением?
4. В чем отличие крупного, среднего и мелкого дробления, грубого и тонкого помола (измельчения)?
5. Что такое степень измельчения?
6. Что называют номинальным размером сеток, модулем набора сит, применяемых в ситовом анализе?
7. Как строят дифференциальную и интегральную кривые распределения частиц материала по размерам?
8. Как определяется средний диаметр частиц?
9. Как определяется коэффициент отклонения?

Литература

1. Процессы и оборудование производства волокнистых и пленочных материалов. – Минск: Вышэйшая школа, 2013. – 587 с.
2. http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=1430
3. Ким В.С. Оборудование заводов пластмасс./В.С.Ким .М.А.Шерышев. - М.: Химия,2008. – 586 с.
4. Головкин Г.С.Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов. - М.: Химия,2007.-399 с.
5. Производство изделий из полимерных материалов: Учебное пособие / В.К.Крыжановский, М.Л.Кербер, В.В.Бурлов и др. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
6. Основы технологии переработки пластмасс / под ред. В.Н.Кулезнева и В.К.Гусева. – М.: Химия, 1995. – 526 с..

7. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учебное пособие. – Саратов: Сарат.гос.техн.ун-т, 2010 – 72 с.

«Изучение степени измельчения и гранулометрического состава материалов, используемых в химической технологии»

Методические рекомендации

Ответственный за выпуск
Оригинал-макет