

28.081 я 7
К - 17

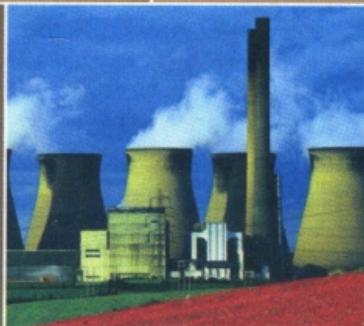
Высшее профессиональное образование

Учебное пособие

В.Г. Калыгин

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

2-е издание



Защита
окружающей
среды

СА-289640

ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В. Г. КАЛЫГИН

СА - 289640
09 /

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Для студентов высших учебных заведений

2-е издание, стереотипное

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ КУЛЬТУРЫ
"ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
УНИВЕРСАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н.К. КРУПСКОЙ"

Москва



2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ I	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ	
Глава 1. Основополагающие определения и принципы промышленной экологии	5
1.1. Понятийно-терминологические определения и другие классификационные структуры	5
1.2. Экологизированные (ресурсосберегающие) технологии	10
1.3. Международный контроль и государственное управление качеством окружающей среды	13
1.4. Контроль качества окружающей среды	16
1.5. Стратегия взаимодействия общества и природы	18
Глава 2. Системный анализ экологически чистых производств	22
2.1. Технические и химико-технологические системы	22
2.2. Уровни и иерархии организации производственных процессов	23
2.3. Алгоритм системной разработки и/или усовершенствования ресурсо-, энергосберегающей техники	32
Глава 3. Формирование и синтез энергосберегающих и экологически безопасных ТС и ХТС	37
3.1. Подсистема подготовки сырья	37
3.2. Подсистема надежности (обеспечения стабильности подготовки)	53
3.3. Подсистема оценки качества полупродукта	57
3.4. Подсистема переработки	62
3.5. Подсистема природоохранной стратегии	67
Глава 4. Введение в курс промышленной пыле-, газоочистки и переработки отходов производств	75
4.1. Основы инженерной реологии, физико-химической механики гомо- и гетерогенных систем, тепло- и массообменных процессов (на примере характеристик газообразных, жидких и твердых загрязнителей биосфера)	75
4.2. Некоторые свойства и физические основы переноса аэрозольных частиц	97

4.3. Основные свойства и способы концентрирования растворов	101
4.4. Физические и химические основы пылеочистки и очистки технологических газов	110
4.5. Физико-химические основы очистки и обезвреживания дымовых газов	115
4.5.1. Очистка дымовых газов от оксидов азота (на примере ТЭС)	115
4.5.2. Методы снижения выбросов и очистки дымовых газов от сернистого и серного ангидридов, хлорида и фторида водорода, оксидов азота (на примере стекольных производств)	122
4.5.3. Метод термохимического обезвреживания дымовых газов (на примере сжигания твердых отходов)	125
4.6. Метод термической переработки органосодержащих твердых отходов (пиролиз)	127
Г л а в а 5. Экологические и экономические принципы оценки инженерной защиты биосферы	129
5.1. Экологическая оценка влияния промышленности на природу и человека	131
5.1.1. Экологическая эффективность природоохранных мероприятий	133
5.1.2. Экологические платежи и методы их расчета	140
5.2. Оценка социальной эффективности природоохранных мероприятий и программ	143
5.3. Экономическая эффективность малоотходовых и ресурсосберегающих производств	144

ЧАСТЬ II

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Г л а в а 6. Природоохранная деятельность на промышленных предприятиях	153
6.1. Система государственных стандартов в области охраны биосфера	153
6.2. Нормирование загрязняющих веществ в биосфере	158
6.3. Экологический паспорт предприятия	169
Г л а в а 7. Источники техногенного загрязнения биосферы	171
Г л а в а 8. Процессы и аппараты для обеспечения экологической безопасности и ресурсосберегающих технологий	187
8.1. Очистка и переработка технологических газов, дымовых отходов и вентиляционных выбросов	187
8.1.1. «Сухие» механические пылеуловители	188
8.1.2. «Сухие» пористые фильтры	192
8.1.3. Электрофильтры («сухие» и «мокрые»)	198
8.1.4. Аппараты «мокрого» пыле- и газоулавливания	200
8.1.5. Комбинированные методы и аппаратура очистки газов	210

8.2. Очистка и повторное использование технической воды и промышленных стоков	214
8.2.1. Условия приема промышленных сточных вод в канализацию населенных мест	214
8.2.2. Методы и оборудование для очистки технической воды и промышленных стоков	215
8.3. Рекуперация, вторичная переработка, хранение и использование твердых отходов. Оценка технологий	238
8.3.1. Обезвреживание твердых отходов	241
8.3.2. Извлечение ценных компонентов из ВМР	241
8.3.3. Использование твердых отходов в качестве вторичных энергетических (ВЭР) и материальных (ВМР) ресурсов	248
8.3.4. Санитарное захоронение отходов	266
Г л а в а 9. Виброакустические загрязнения окружающей среды	269
9.1. Производственный шум: механизм, нормирование и методы защиты	269
9.2. Вибрация: механизм, нормирование и методы защиты	277
Г л а в а 10. Неионизирующие и ионизирующие загрязнения (излучения, поля) окружающей среды	282
10.1. Неионизирующие поля и излучения. Электромагнитное загрязнение биосфера: опасность, оценка, технические средства защиты	282
10.1.1. Механизм ЭМП	283
10.1.2. Природные (естественные) источники ЭМП	286
10.1.3. Техногенные (антропогенные) источники ЭМП	286
10.1.4. Нормирование ЭМП	287
10.1.5. Основные методы коллективной и индивидуальной защиты от ЭМП	292
10.1.6. Безопасность лазерного излучения	293
10.1.7. Безопасность персональных ЭВМ (ПК)	295
10.2. Ионизирующие поля и излучения: опасность, оценка и нормирование, технические средства защиты, безопасные технологии	297
10.2.1. Электростатические поля (ЭСП), загрязнение и защита биосферы	297
10.2.2. Радиационное излучение, загрязнение и защита биосферы	302
Г л а в а 11. Промышленные аварии и техногенные чрезвычайные ситуации	316
11.1. Экологическая безопасность человека, биосфера и промышленных (инженерных) объектов в условиях ЧС и крупных аварий	316
11.1.1. Основные понятия	316
11.1.2. Принципы обеспечения экологической безопасности производств	319
11.2. Устойчивость работы промышленных объектов в ТЧС	320

11.2.1. Оценка устойчивости зданий (сооружений) к действию ударной волны	320
11.2.2. Оценка устойчивости технологического оборудования к действию ударной волны	322
11.2.3. Оценка устойчивости электронной (офисной) аппаратуры и техники	324
11.2.4. Оценка последствий аварий на потенциально опасных промышленных объектах	325
11.2.5. Основные пути повышения инженерной устойчивости промышленных объектов	328
11.3. Прогнозирование экологической обстановки при авариях на химически опасных объектах	328
11.3.1. Масштабы реальной опасности химических объектов	328
11.3.2. Сильнодействующие ядовитые вещества	331
11.3.3. Прогнозирование химической обстановки при авариях со СДЯВ	335
Глава 12. Приоритетные пути развития и реализации новых технологий, отвечающих требованиям промышленной экологии	347
12.1. Ресурсосберегающая техника силикатных производств	348
12.1.1. Новые способы обеспечения экологической безопасности промышленных отходов	348
12.1.2. Компактирование стекольной шихты	360
12.2. Фильтровальная техника защиты биосфера ^ы от промышленных выбросов	361
12.3. Получение газообразного топлива (пирогаза) из твердых отходов	367
12.4. Фильтровальная техника для очистки и обеззараживания отработанных моющих растворов	372
12.5. Мобильная ресурсосберегающая установка комплексного обезвреживания вредных веществ в ТЧС	383
12.6. Перспективные концепции ядерных технологий	387
12.7. Вторичная переработка и уничтожение продуктов оборонной промышленности. Конверсионные технологии	388
12.8. Новые технологии защиты от шума	392
12.9. Перспективные топливосжигающие устройства	393
12.10. Установка для производства защитной атмосферы	398
Приложения	402

персной многокомпонентной стекольной шихты являются частицы тугоплавкого кварцевого песка (52—60 масс. %, твердость по Моосу 6,5—7,0) и карбонатного сырья (35—40 масс. %, твердость по Моосу 3,0—4,0). Их размеры и степень дефектности кристаллических решеток существенно влияют на скорости отдельных стадий процесса стекловарения.

Кварцевый песок и карбонатное сырье измельчают в газоструйных, аэробильных, шаровых и валковых мельницах.

На рис. 3.1 представлен аппарат серии *JOM* (Япония) для измельчения порошков типа кварцевого песка и известняка. Сырьевой материал выгружается из сырьевого бункера, разгоняется до сверхзвуковой скорости поступающим из сопла трубы Вентури сжатым воздухом и подается во внутреннюю часть аппарата.

В зоне измельчения, образованной текучей средой, нагнетаемой из сопел, установленных в нижней части аппарата, сырьевая материал разрушается за счет энергии удара и трения. После измельчения порошок поднимается по восходящей трубе и подводится в узел классификации, где мелкие фракции отделяются направляющей лопatkой, а крупные спускаются по нисходящей трубе и смешиваются с загруженным сырьевым материалом для повторного измельчения.

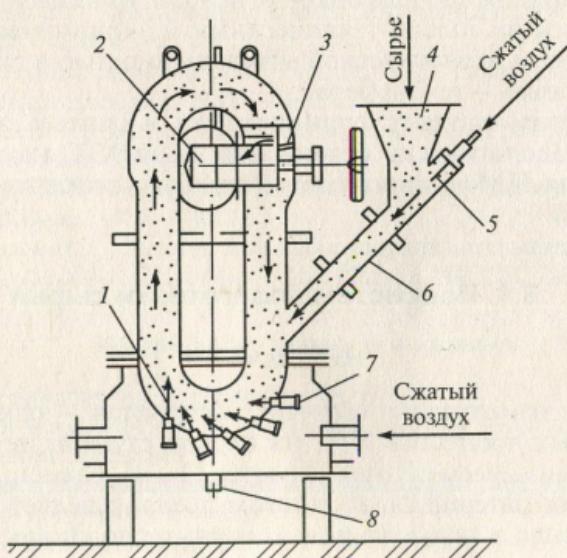


Рис. 3.1. Струйный измельчитель серии *JOM* (Япония) для кварцевого песка и известняка:

1 — зона измельчения; 2 — выгрузка; 3 — направляющая лопатка (узел классификации); 4 — сырьевой бункер; 5 — сопло толкателя; 6 — труба Вентури; 7 — сопло для измельчения; 8 — дренаж

Основные режимные параметры измельчителей:

Тип <i>JOM</i>	0101C4C	0202C4C0304F4C	0405F4C	0608F4C	0808F4C
Давление, МПа		0,65		0,65 — 0,70	
Расход воздуха, м ³ /мин	1,0	2,6	7,6	16,1	26,4
Потребляе- мая электро- энергия, кВт·ч	11	22	55	125	150
Производи- тельность, кг/ч	0,5 — 2,0	2,0 — 20	20 — 100	50 — 300	200 — 600
					400 — 1000

Достоинства струйных измельчителей — низкая металлоемкость, однородный гранулометрический состав измельченного материала и возможность полной автоматизации процесса.

Отечественной промышленностью разработан пневмоимпульсный измельчитель серии ИП, входящий в установку УИП для переработки порошков [5]. В основу его работы заложен метод нестационарного движения под действием перепада статического давления и ударного взаимодействия с отбойной поверхностью высококонцентрированных поршневых масс дисперсного материала. Помол осуществляется самоизмельчением частиц материала в области отбойной поверхности измельчителя. Аппарат позволяет совмещать измельчение и внутрищечевой пневмотранспорт продукта помола на расстояния до 50 м. Производительность по измельчению, например, кварцевого песка достигает 200 кг/ч при удельном расходе сжатого воздуха 0,48 кг/кг материала и рабочем давлении 0,6—1,0 МПа, а средний размер частиц *D* (50 %) составляет 73 мкм.

На основе уравнения баланса концентрации компонентов в корпусе аппарата показано, что процесс помола многокомпонентных смесей стремится к установившемуся режиму, при котором концентрации компонентов в продукте помола равны исходным. Концентрация *i*-го компонента *j*-й фракции в корпусе измельчителя при установившемся режиме

$$E_{ij} = E_{i0} / [K_i \sum_{j=1}^m (E_{i0} / K_j)], \quad (3.1)$$

где *K_i*, *K_j* — параметры, характеризующие относительный выход из аппарата измельченного *i*-го компонента *j*-й фракции; *E_{i0}* — объемное содержание *i*-го компонента в исходной смеси; *N* — количество фракций.

Модификацией широко известных струйных мельниц являются газоструйные противоточные мельницы для тонкого и сверх-

тонкого измельчения продуктов. Мельница СММ-39 позволяет получать частицы готового продукта от 2 до 200 мкм при удельных энергозатратах порядка 35 кВт · ч/т. Разновидность этой мельницы — установка, разработанная Днепропетровским горным институтом. Энергоносителем в ней является нагретый воздух или газо-воздушная смесь. Исходный кварцевый песок с частицами размером ≤ 0,8 мм и влажностью до 0,5 масс. % через дозатор по течкам поступает в инжекционные узлы, где увлекается скоростным потоком горячего воздуха (сжатого до 0,35—0,40 МПа) с одновременным термическим ударом ($\Delta t \sim 500^{\circ}\text{C}$) и в разгонных трубках ускоряется до 300—400 м/с. Измельчение в пересечении потоков струй происходит вследствие лобового удара и истирания одних частиц о другие, а также о футеровку помольной камеры. В классификаторе недоизмельченный порошок отделяется и поступает на повторное измельчение. Годные фракции улавливаются в циклонах готового продукта. Отработанный воздух после очистки в фильтре выбрасывается в атмосферу. Мельница может работать в разных аэродинамических и температурных диапазонах. Конструкция газоструйного измельчения компактна, легко вписывается в габариты подготовительных цехов, а, главное, позволяет непрерывно измельчать компоненты шихты.

Ударно-отражательные измельчающие устройства (аэробильные мельницы) используются для получения мелкодисперсных порошков доломита, известняка и мела. В отличие от других измельчающих устройств эти мельницы (например, *Dry Mill*, Италия) при простоте конструкции имеют меньшие энергозатраты и позволяют получать тонкоизмельченный продукт, прошедший частичную декарбонизацию. Это можно объяснить доминирующим влиянием на процесс ударного высокотемпературного измельчения трех разных скоростей взаимодействия частиц материала с рабочими элементами машины, определяемых движением исходного материала, газовой и дисперсной фаз.

Результат анализа степени влияния разных факторов на осредненное движение частицы — уравнение

$$m \frac{dv}{dt} = F_c + F_{\text{ц.б}} + F_{\text{кор}} + F_{\text{тр}}, \quad (3.2)$$

где m и v — масса и скорость частицы соответственно; F_c — сила аэродинамического сопротивления; $F_{\text{ц.б}}$ — центробежная сила инерции; $F_{\text{кор}}$ — кориолисова сила; $F_{\text{тр}}$ — сила трения скольжения, возникающая при движении частицы материала вдоль рабочих элементов мельницы.

Зная зависимости изменения скорости воздушного потока в роторе мельницы от скорости его вращения, а также граничные условия, можно определить энергетические характеристики движения

частиц материалов в любой зоне измельчителя и, следовательно, скорость их взаимодействия с рабочими элементами мельницы.

Проведенные исследования показали возможность получения в газоструйных и аэробильных мельницах тонкомолотых материалов с заданной для стекловарения гранулометрией, исключая наличие в шихте частиц карбонатного сырья размером > 200 мкм и кварцевого песка > 400 мкм.

Для эффективного измельчения порошков с разными физико-механическими свойствами и получения заданных в дальнейшей технологии их характеристик рекомендуется также использовать вибрационные и валковые мельницы, не нашедшие пока широкого применения в промышленности.

Дозировка

Операциям дозирования компонентов отводится важное место в подсистеме подготовки монгокомпонентных полидисперсных порошковых материалов (МППМ). Именно на участке дозирования реализуются управляющие воздействия, вырабатываемые системами верхних уровней, осуществляющими оптимизацию и стабилизацию качества продукта смешения, компактирования, стекловарения и формования стеклянного волокна.

Для дозирования шихтовых материалов применяют дозаторы с регулированием расхода по скорости и по сечению потока, а для запирания их гравитационного истечения используют механические заслонки или затворы с электромагнитным или электромеханическим приводами. Однако существующие дозаторы (с барабанными питателями, питателями диафрагменного типа и др.) не всегда удовлетворяют возросшим требованиям к точности дозирования.

Для оценки фактического среднего значения расхода (производительности) дозируемого компонента делается выборка некоторого числа проб с измерением их масс. Затем определяют среднюю массу проб, производительность, доверительный интервал оценки среднего значения и представительность выборки. Учитывая, что компоненты шихты и сама шихта обладают невысокой сыпучестью и склонностью к сводообразованию, основной задачей дозирования является обеспечение заданного в соответствии с рецептом химического состава стекла расхода смешиаемых материалов. В общем случае погрешность дозирования

$$\Delta \leq \left| \int_{t_i}^{t_i+t} Q(t) dt - \int_{t_i}^{t_i+t} Q_{\text{зад}}(t) dt \right|, \quad (3.3)$$

где $Q(t)$ и $Q_{\text{зад}}(t)$ — фактический и заданный расходы за время t .

В промышленности для дозирования могут использоваться дозаторы как автоматические, так и без автоматического регулиро-

вания [6, 7]. Использование автоматических систем дозирования повышает качество готовых изделий, надежность и производительность процесса. Погрешность дозаторов фирм *Atlas-MAK Maschinenbau GmbH*, *Philips Industrial Elektro-Acoustic Systems Division* (ФРГ) не превышает $\pm 1\%$. Управление процессом дозирования с помощью микрокомпьютера обеспечивает погрешность дозирования 0,3—0,6 %.

Точность дозирования кроме конструкционных факторов обусловливается устойчивым истечением сыпучих материалов, для чего используют дополнительное воздействие (вибрацию). Наиболее перспективны беззатворные электромагнитные вибрационные (бесшумные) питатели, в которых при отсутствии вибрации происходит самозапирание потока за счет образования на рабочих органах насыпей под углом естественного откоса (рис. 3.2). В зависимости от уровня подводимой к материалу энергии вибрации возможны уплотнение или псевдоожижение материала, в частности, с циркуляционным движением, приводящее к дополнительным затратам энергии. Энергия диссипации ΔE выгружаемого материала:

$$\Delta E = \frac{\rho_s}{4} \int_0^l \int_0^h \left[[v_x(x, y)]^2 + [v_y(x, y)]^2 \right] dx dy, \quad (3.4)$$

где ρ_s — поверхностная плотность материала при его свободной засыпке; l, h — ширина и высота бункера; v_x, v_y — проекции скорости частиц материала.

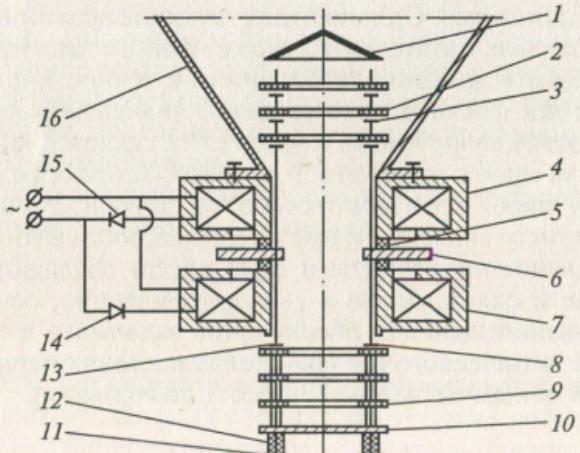


Рис. 3.2. Схема комбинированного вибрационного питателя:

1 — стабилизатор давления; 2, 9 — кольцевые диски; 3, 8, 11 — упоры; 4, 7 — электромагниты; 5 — упругая система; 6 — якорь электромагнитов; 10 — распределительный диск; 12 — упругий элемент; 13 — стержень; 14, 15 — диоды; 16 — расходный бункер

С использованием морфологической карты рабочего органа дозатора разработан ряд конструкций питателей, позволяющих осуществить связное, т.е. поэтапное, дозирование компонентов шихты. Комплектация весовых линий (особенно организованных по круговой схеме, основанной на принципе «единый бункер») такими устройствами повышает точность дозирования, производительность и значительно уменьшает габаритные размеры дозаторов. При снабжении скобой-заслонкой их можно использовать в системах пылегазоочистки в качестве пылевых затворов. Для каждого варианта дозирования или пылевыгрузки должна быть составлена с учетом рекомендаций [6, 7] определенная структурная схема или предложен определенный алгоритм управления процессом.

Смешение

На качество выпускаемого стекловолокна существенно влияет процесс смешения шести—десяти компонентов шихты с размером частиц от 5 до 800 мкм. Цель смешения — получение однородной смеси из компонентов с разными фракционными и химическими характеристиками, а также — в ряде случаев — ввод увлажняющих добавок.

Отечественной промышленностью разработаны смесители нескольких типов специально для порошкообразных материалов: периодического действия — с Z-образными лопастями (ЗЛ), с ЗЛ и загрузочным шнеком (ЗШ), планетарно-шнековые (ПШ), ленточные (Лн), плунжерные (Пж), центробежные лопастные (ЦЛ); комбинированного действия (Км) — на базе двух последовательно соединенных ЦЛ-смесителей, барабанные (Бн), пневматический сопловый (ПС), непрерывного действия — центробежный НДЦ-630, двухшнековый СНД и др. [8].

В настоящее время в цехах приготовления шихты для стеклования применяют тарельчатые, роторные и реже пневмоструйные смесители периодического и полупериодического действия.

Тарельчатые смесители СБ-951; СБ-138А Славянского машиностроительного завода предназначены для приготовления бетонных смесей и строительных растворов. Использование их для смешения компонентов стекольной шихты приводит к появлению «мертвой» зоны, в которой шихта перемешивается менее интенсивно. Это вызывает значительные отклонения химического состава по массе от заданного, а несовершенная система местного отсоса вносит дополнительные отклонения от заданного рецепта шихты за счет уноса из объема смесителя легколетучих компонентов. Те же недостатки наблюдаются у смесителей для стекольных шихт СТ-700М и ВА-248.

Смесители аналогического класса Серпуховского механического завода модели ВА-350 и фирмы *Eirich* (ФРГ) серии *R*, *RV*, *MPM* не имеют таких недостатков. Смесь может готовиться порциями или непрерывно.

В процессе смешения обеспечивается постоянная циркуляция всего объема шихты, отсутствует налипание сырья на дно и стени тарели (корпуса).

Техническая характеристика тарельчатых смесителей

Модель	<i>R18</i>	<i>RV18</i>	<i>R23</i>	<i>RV23</i>	СБ-138А	ВА-350
Вместимость, л/кг	1125	1500	2250	3000	1500	800
	1800	2400	3000	4800	—	—
Максимальная мощность приво- да, кВт:						
тарели	15	22	2×15	2×22	—	—
ротора	92	110	132	160	37	18,5
узла разгрузки	3	3	4	4	Пневмопривод	
Масса без матери- ала, т	4,5	5,0	7,5	8,2	4,7	2,75

Фирма *JBAG* (ФРГ) разработала высокоскоростной смеситель стекольной шихты *Contra-Mix* в котором интенсивное перемешивание достигается встречным вращением трех групп рабочих органов в двух уровнях неподвижного корпуса (тарели), создающим высокие скорости движения одних частиц шихты относительно других при их низкой скорости относительно стенок корпуса смесителя, благодаря чему снижается его износ. Исключается расслаивание МППМ под действием центробежных сил. Смеситель может работать как в периодическом, так и в непрерывном режимах, иногда оснащается специальными рабочими органами для перемешивания стеклобоя. Время смешения уменьшено вдвое по сравнению с существующими смесителями.

Фирма *WAB* (ФРГ) разработала смеситель «Турбула» системы «Шац», реализующий принцип трехмерного, ритмически пульсирующего движения. Смесь находится в закрытых емкостях, которые могут одновременно служить контейнерами для транспортировки или хранения. В этом случае гарантируется качество смешения и отсутствие пылевыделений. Вместимость смесителей может изменяться от 30 кг (марка T10B) до 500 кг (марка T500).

Фирма *Metalchim* (Польша) разрабатывает механические смесители, аналогичные отечественным типа ПШ-630ВКБ серии *SWW-0751-441* и *MS21*, *MS41* со встроенным перемешивающим и транспортирующим шнеком вместимостью 1,4 и 2,8 м³ с мощностью 5,5 и 7,5 кВт.

Фирма *Dynamic Air* (Великобритания) разработала силосный смеситель *Blendon* для эффективного и скоростного смещивания крупных порций сухих материалов (до 180 т).

Принцип смещения основан на использовании кинетической энергии импульсов сжатого газа с помощью инжекторов, образующих кольцо. Возможность регулирования продолжительности и частоты импульсов, а также давления и объема воздуха позволяет оптимизировать режим смещения в каждом конкретном случае. Например, порция компонентов шихты массой 18 т смещивается за 4 мин. Отработанный запыленный воздух пропускается через фильтр, а уловленный материал возвращается повторно в смеситель.

Фирма *Gardners* (Великобритания) выпускает специализированные для стекольных шихт смесители серий: *H*, в которых смещение осуществляется с помощью вала, снабженного прерывистой спиральной лопастью (отечественный аналог — ЗЛ); *L* — рабочим элементом является прерывистая спиральная лента (отечественный аналог — Лн); *E* — высокоскоростные лотковые смесители (отечественный аналог НДЦ-630).

Отличительные достоинства смесителей зарубежных фирм — их комплектация системами подогрева шихты (*Teka Maschinenbau GmbH* и др.), приборами для измерения температуры, влажности (*Maschinenfabrik Sustav Eirich* и др.) и, главное, компьютерными управляющими устройствами с монитором. Модуль включает разные программы, в том числе проверки заданных величин, автоматической оптимизации, контроля допусков, статистики расхода компонентов и шихты.

Комплексное изучение и анализ процесса смещения борсодержащих шихт свидетельствуют о перспективности пневмоструйных смесителей [9, 10]. Это подтверждает и зарубежный опыт фирм *Woodall-Duckham* и *Gardners* (Великобритания). Такой смеситель расходует меньше энергии, чем смесители серии *H*, *L*, *E*.

На рис. 3.3 представлен пневмоструйный смеситель *Woodall-Duckham*, выполняющий одновременно функцию транспортера шихты. При вместимости бункера 1250 кг время смещивания не превышает 2—3 мин, а расход воздуха — 425 м³/ч. Объем рабочей камеры отечественного смесителя ПС-100 ВБК-01 всего 0,2 м³ явно недостаточен.

В настоящее время разработан смеситель, не уступающий по технико-экономическим показателям зарубежным аналогам (рис. 3.4) [9, 10]. Достоинством таких смесителей, кроме возможной активации высокооднородных МППМ и их транспортировки, является полное решение экологической проблемы. Степень очистки газа составляет 98—99,9 % в зависимости от характеристик материала. Построение математической модели пневмоструйных смесителей предложено базировать на основе теории случайных

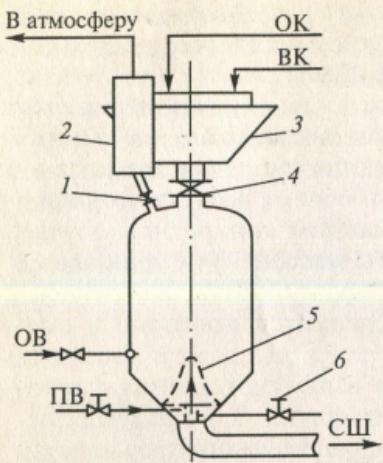


Рис. 3.3. Пневмоструйный смеситель-транспортер:
 1 — воздушный клапан; 2 — фильтр рукавный; 3 — весы; 4 — выпускной клапан; 5 — конусный клапан; 6 — соленоид конусного клапана; ОК и ВК — основные и вспомогательные компоненты; ОВ и ПВ — основной и подмешиваемый воздух; СШ — смешанная шихта

марковских процессов [2, 5]. При этом предполагается, что переменное силовое поле, действующее на частицы, можно разложить на элементы с направленным движением потоков и высокой эффективностью. В объеме смесителя можно создать несколько таких точек и образовать из них ядро. В этом случае процесс рассматривается в виде ячеекной модели с циркуляцией потоков.

В качестве новейших необходимо отметить смесители непрерывного действия, например многоступенчатые ротационные смесители с внутренними устройствами в виде дисков сложной формы, образующих байпасные области, в которых и происходит процесс смешения. К этой группе смесителей относятся также центробежные со сложным (или простым) движением рабочего органа, гравитационные полочные и др. Отмечается высокое качество получаемых смесей по сравнению, например, со смесителем типа «Intoleter» английской фирмы *Henry Simon Ltd.*

Квалифицированный подход к выбору рационального типа механических смесителей (РТМ26-01-129-80 «Машины для переработки сыпучих материалов. Методы выбора оптимального типа питателей, смесителей и мельниц») заключается в следующем. Сначала рассчитывают необходимую линейную скорость вращения рабочего органа смесителя

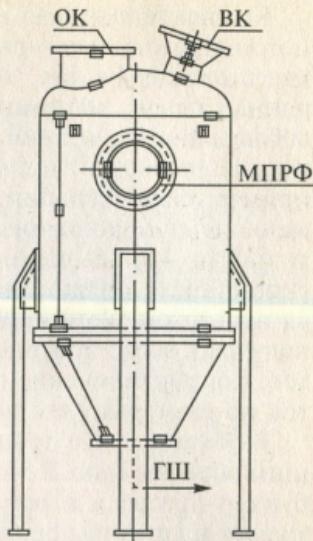
$$v = -5,25 \lg \frac{1600\sigma_g^2}{P(1-P)(C+2)}, \quad (3.5)$$

где σ_g — допустимое значение среднеквадратичного отклонения концентрации ключевого компонента в смеси, масс. %; P — содержание ключевого компонента в смеси, масс. %; C — удельное сцепление смеси (прочность сыпучего материала на разрыв), ГПа.

Рис. 3.4. Пневмоструйный смеситель — измельчитель стекольной шихты (МПРФ — место присоединения рукавов фильтра; ГШ — готовая шихта)

Затем выбирают из каталога те смесители, в которых линейная скорость вращения рабочего органа будет не меньше рассчитанной, а из них — тот, который обеспечивает максимальный технологический эффект, например, степень однородности или скорость прохождения химических реакций. Разработаны разные методики, отражающие достигнутую степень однородности шихты.

Многообразие аппаратурного оформления, неоднозначность процесса пространственного распределения компонентов в объеме смеси и его случайный характер затрудняют объективную оценку практической работы того или иного смесителя в технологии шихтоподготовки. Использование методов моделирования, базирующихся на эмпирических методах, способах, основанных на анализе потоков с помощью функции распределения времени пребывания (РВП) частиц потока внутри аппарата, методах механики сплошных сред; энтропийно-информационном, статистическом подходах, упростит анализ работы, ускорит выбор и откроет дополнительные пути усовершенствования смесительной аппаратуры, способов смешения и методов контроля.



Компактирование

Высокие требования, предъявляемые к шихте: химическая и гранулометрическая однородность, исключение ее расслоения и механического загрязнения, уменьшение затрат на транспортировку и хранение, снижение пыления и испарения компонентов шихты на последующих этапах переработки, делают, как правило, процесс подготовки шихты определяющим при изготовлении высококачественных стекол. Поэтому наряду с традиционной технологией ведутся работы по приготовлению шихты методом гелей, растворов и гидротермального синтеза. С этой же целью начинают использовать гранулированные компоненты или группы компонентов, все чаще применяют шихты, уплотненные на оборудовании разных видов. Наиболее перспективным направлением совершенствования процесса приготовления шихты является ее компактирование на валковых прессах с получением продукта в виде плиток неправильной формы [11—13].