

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Общие сведения о перемешивании.....	7
1.1. Структурный анализ смесительных машин.....	7
1.2. Виброреология.....	18
1.3. О механизме процесса смещивания.....	27
1.4. Количественная оценка качества смещивания.....	31
1.5. Методы определения мощности мешалок.....	34
Глава 2. Особенности проектирования вибросмесителей.....	40
2.1. Основные требования.....	40
2.2. Специфика вибрационных нагрузок подшипников качения.....	44
Глава 3. Уравновешенные эксцентриковые вибровозбудители.....	54
3.1. Описание конструкций.....	55
3.2. Взаимодействие вибровозбудителя со средой.....	57
3.3. Методика балансировки .....	59
Глава 4. Примеры проектирования вибромиксеров.....	73
4.1. Виброшнековые смесители.....	73
4.2. Чашечные вибрационные смесители.....	95
4.3. Гравитационные вибрационные смесители.....	110
Глава 5. Опытно-промышленные образцы.....	116
5.1. Виброшнековые смесители.....	116
5.2. Чашечные вибросмесители.....	121
5.3. Гравитационный вибросмеситель.....	127
5.4. Вибромиксеры.....	129
Выводы и рекомендации.....	141
Приложение.....	144
Литература.....	188

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Общие сведения о перемешивании.....	7
1.1. Структурный анализ смесительных машин.....	7
1.2. Виброреология.....	18
1.3. О механизме процесса смещивания.....	27
1.4. Количественная оценка качества смещивания.....	31
1.5. Методы определения мощности мешалок.....	34
Глава 2. Особенности проектирования вибросмесителей.....	40
2.1. Основные требования.....	40
2.2. Специфика вибрационных нагрузок подшипников качения.....	44
Глава 3. Уравновешенные эксцентриковые вибровозбудители.....	54
3.1. Описание конструкций.....	55
3.2. Взаимодействие вибровозбудителя со средой.....	57
3.3. Методика балансировки .....	59
Глава 4. Примеры проектирования вибромиксеров.....	73
4.1. Виброшнековые смесители.....	73
4.2. Чашечные вибрационные смесители.....	95
4.3. Гравитационные вибрационные смесители.....	110
Глава 5. Опытно-промышленные образцы.....	116
5.1. Виброшнековые смесители.....	116
5.2. Чашечные вибросмесители.....	121
5.3. Гравитационный вибросмеситель.....	127
5.4. Вибромиксеры.....	129
Выводы и рекомендации.....	141
Приложение.....	144
Литература.....	188

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Общие сведения о перемешивании.....	7
1.1. Структурный анализ смесительных машин.....	7
1.2. Виброреология.....	18
1.3. О механизме процесса смещивания.....	27
1.4. Количественная оценка качества смещивания.....	31
1.5. Методы определения мощности мешалок.....	34
Глава 2. Особенности проектирования вибросмесителей.....	40
2.1. Основные требования.....	40
2.2. Специфика вибрационных нагрузок подшипников качения.....	44
Глава 3. Уравновешенные эксцентриковые вибровозбудители.....	54
3.1. Описание конструкций.....	55
3.2. Взаимодействие вибровозбудителя со средой.....	57
3.3. Методика балансировки .....	59
Глава 4. Примеры проектирования вибромиксеров.....	73
4.1. Виброшнековые смесители.....	73
4.2. Чашечные вибрационные смесители.....	95
4.3. Гравитационные вибрационные смесители.....	110
Глава 5. Опытно-промышленные образцы.....	116
5.1. Виброшнековые смесители.....	116
5.2. Чашечные вибросмесители.....	121
5.3. Гравитационный вибросмеситель.....	127
5.4. Вибромиксеры.....	129
Выводы и рекомендации.....	141
Приложение.....	144
Литература.....	188

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема интенсификации и оптимизации технологических процессов и создание оборудования, отвечающего современным требованиям промышленности — одна из наиболее актуальных задач. Существенное значение в технологии производства строительных материалов имеет процесс смещивания, который совместно с процессом формования определяет качество изделий. Основным недостатком существующих смесителей является низкая интенсивность диффузионных процессов смещивания — процессов, реализуемых на микроуровне. Последнее обуславливает при формировании изделий появление дефектов, концентраторов напряжений и т. п., снижающих их физико-механические свойства.

Известно, что большинство гетерогенных сред, к которым относятся строительные смеси, обладает свойством *тиксотропии, характеризуемым уменьшением вязкости дисперсных системы при механических воздействиях с последующим восстановлением структуры после их устранения.*

*(Гетерогенная среда — микроскопически неоднородная физико-химическая система, состоящая из различных по свойствам частиц, разграниченных поверхностями раздела фаз.)*

Это явление открыто в 30-е гг. XX столетия немецким ученым физико-химиком Г. М. Фрейндлихом.

Среди различных способов механической переработки гетерогенных сред особое место занимают вибрационные процессы. Применение вибрации в технологических процессах началось с изобретением и получением патента в 1927 г. во Франции инженером Деняном на вибратор с гармоническими колебаниями, что послужило толчком к созданию машин и оборудования нового поколения — вибрационных машин.

В дальнейшем изучению подобных явлений были посвящены работы академика П. А. Ребиндера, докторов наук Н. Б. Урьева, В. А. Членова, Н. В. Михайлова, А. Е. Десова, И. И. Блехмана, Г. Ю. Джанелидзе, Г. Я. Кунноса, М. А. Талейсника, А. М. Скудры, О. А. Савинова, Л. А. Файтельсона, Р. Лермита и других авторов.

Вибрационные технологические процессы и используемые в них машины и оборудование применяются в строительстве, производстве строительных материалов и во многих других отраслях промышленности. Уплотнение, дробление, сепарация, погружение свай и шпунтов, дозирование и транспортирование насыпных материалов — далеко не полный перечень технологических процессов, в которых используют вибрацию.

Проектирование вибрационных машин неразрывно связано с изучением физических процессов, протекающих при взаимодействии рабочего органа машины с обрабатываемой средой, теории колебаний и динамики машин, усталостной прочности элементов конструкций.

Целесообразность вибрационного смещивания обоснована в результате многочисленных исследований, проведенных советскими учеными, а также коллективами научно-исследовательских институтов. В частности, в технологии производства строительных материалов получены важные для практики результаты об улучшении формуемости смесей, повышении их однородности, снижении расхода цемента. Разрушение коагуляционных структур при вибрации обеспечивает дополнительное диспергирование конгломератов в смеси, результатом которого является активация процессов на микроуровне.

Основная причина отсутствия в мировой практике применения вибросмешителей для перемешивания различных смесей состоит в том, что эффективность этого процесса достигается при амплитудных значениях ускорений колебаний вибровозбудителей  $\approx 80 \dots 130 \text{ м/с}^2$ . В результате элементы конструкции подвергаются большим инерционным нагрузкам. Последнее обстоятельство затрудняет создание конструкций, отвечающих требованиям надежности и дол-

говечности, в связи с отсутствием рекомендаций по методам их проектирования.

Предлагаемое вниманию учебное пособие является результатом 30-летних исследований автора по разработке методов проектирования вибрационных смесительных машин с использованием в качестве вибрационных механизмов уравновешенных эксцентриковых виброзбудителей, обладающих свойством ***внутренней виброзащиты объекта***.

Данное свойство позволяет снизить уровень передачи вибрации на окружающую среду, с одной стороны, и максимально использовать вибрационные воздействия на обрабатываемый материал, с другой.

Учебное пособие предназначено для инженеров-механиков, работающих в области технологии переработки дисперсных систем, научных работников, а также изложения специальных курсов для аспирантов и студентов в учреждениях высшего профессионального образования.

Автор выражает благодарность за помощь в проведении экспериментальных исследований вибрационных процессов смешивания аспирантам А. А. Себренникову, В. П. Баторшину, И. М. Ефремову, А. П. Кивалу, Д. Хвану, В. Н. Кучинскому и содействие в освоении промышленных образцов Е. А. Прозорову и коллективам ООО «Алгоритм» РФ и треста Латавтодормост.

# 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРЕМЕШИВАНИИ

### 1.1. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СМЕСИТЕЛЬНЫХ МАШИН

История развития человечества неразрывно связана с изобретениями, открытиями, созданием и совершенствованием различных технических объектов и технологических процессов. В настоящее время разнообразие их даже в одной отрасли достигло таких размеров, что дальнейшее совершенствование технических объектов и технологических процессов невозможно без применения современных методов поиска новых технических решений.

Очевидно, что социально-экономическую целесообразность создания и использования машин и оборудования нового поколения имеет смысл рассматривать при наличии необходимого научно-технического потенциала, обеспечивающего принципиальную возможность проектирования, изготовления и практического их использования. При этом наличие социально-экономической целесообразности указывает на то, что, во-первых, изготовление и практическое использование их в целях удовлетворения определенных потребностей экономически возможно и выгодно, во-вторых, не ухудшаются антропогенные критерии прогрессивного развития.

*(Антропогенные факторы — экологические факторы, обусловленные различными формами влияния деятельности человека на природу.)*

В качестве обобщенного метода поиска новых технических решений в настоящее время используют метод системного анализа для изучения сложных технических систем и процессов. Под системным анализом понимается вся методология процесса выработки и принятия решений в проблемных ситуациях, когда операции анализа и синтеза тесно переплетаются. В процедуру системного анализа технической системы входят этапы: формулирование цели, анализ

проблемы и структуры технической системы, анализ закономерностей и тенденции исторического развития, составление моделей и разработка развернутого плана исследований, выбор критериев сравнения и т. п.

В основу научного подхода совершенствования машин и оборудования могут быть положены следующие принципы.

1. Изучение и анализ конструктивной эволюции, позволяющие набрать необходимую сумму факторов для формулирования закономерностей строения и развития, которые значительно облегчают поиск новых технических решений.

2. Изучение и анализ физико-химических, гидродинамических и других процессов, позволяющих осуществлять поиск новых физических эффектов, которые обеспечивают повышение интенсивности и эффективности процесса, и создавать их физические и математические модели.

3. Разработка методов проектирования машин нового поколения.

Главные закономерности строения и развития техники сформулированы Я. Черниховым:

— конструкция является только тогда конструкцией, когда она имеет рациональную оправданность объединения своих элементов на основе гармонического соотношения друг с другом;

— конструктивное решение должно иметь причину, на основании которой делается построение;

— прежде чем принять окончательный образ, конструктивное отображение должно пройти необходимые этапы своего развития.

По мнению Г. С. Альтшуллера, техническая система (ТС) имеет следующие этапы развития:

— первый этап — подбор элементов для образования системы;

— второй этап — совершенствование отдельных частей;

— третий этап — динамизация системы;

— четвертый этап — объединение с другими системами, дробление на части, перекомбинирование системы;

— пятый этап — переход с макроуровня на микроуровень.

*Некоторые принципы закономерности исторического развития техники:*

— закон прогрессивной конструктивной эволюции технических систем — при неизменном принципе действия (ПД) и техническом решении (ТР) улучшаются параметры ТС до приближения к глобальному экстремуму, после выполнения этого условия происходит переход к более рациональному ПД;

— принцип избыточности — в любой момент времени для реализации заданной функции число различных ТР на уровне патентов, чертежей, опытных образцов всегда больше серийно реализованных;

— принцип соответствия между функциями и техническими решениями — в процессе конструктивной эволюции ТС, имеющих постоянную функцию, всегда одновременно существуют ТС с различными ПД и конструкциями (К);

— принцип перехода через предел — ТС с постоянной функцией, у которых ТР приближается к глобальному экстремуму по ПД и К, стабилизируются и прекращают дальнейшую конструктивную эволюцию, если не появляются **новые физические эффекты**, позволяющие усовершенствовать принципы действия и конструкцию.

Одним из основных принципов закономерности исторического развития техники, используемых в дальнейшем изложении, является принцип предпочтения: *при переходе на новые принципы действия в технических системах с использованием конкретных физических эффектов предпочтение отдается более новым физическим эффектам, т. е. открытым позднее.*

В соответствии с принципом предпочтения интерес с точки зрения интенсификации процессов смешивания представляют физико-химические эффекты **тиксотропии, характеризуемые уменьшением вязкости дисперсных систем при механических воздействиях с последующим восстановлением структуры после их устранения.**

На пути реализации поиска новых технических решений целесообразно использовать современные методы творческих процессов конструирования: эв-

ристические приемы, теорию решения изобретательских задач, в частности, методы устранения технических противоречий, морфологический анализ, анализ и синтез физических принципов действия и т. п.

Развитие конструкций смесителей целесообразно анализировать путем изучения физических принципов действия и построения функциональных структур: потоковой (ФПС) и конструктивной (ФКС).

Основные положения этого метода состоят в следующем. Процесс изучения технической системы может быть сведен к изучению потоков энергии, вещества и сигналов, протекающих в них. Метод исходит из предположения, что процессы в машинах могут быть сведены к совокупности простых действий, называемых физическими операциями.

**Физическая операция** — процесс преобразования входных физических величин в выходные.

Следовательно, если проанализировать в конструкции все цепи, по которым передаются различные формы энергии, потоки вещества и сигналов, то можно построить функциональную структуру машины в виде последовательно или (и) параллельно выполняемых элементарных физических операций.

Структура поиска новых технических решений представлена на рис. 1.1.

Физическая операция происходит на основе одного или нескольких физико-технических эффектов (физических эффектов). Под физическим эффектом понимается результат воздействия одних физических объектов на другие, приводящий к определенным изменениям физических величин. В качестве физических эффектов могут быть использованы физические и химические законы, законы механики и т. п. При создании цепочек физических эффектов используют понятие совместимости. Например, два последовательно расположенных физических эффекта являются совместимыми, если результат воздействия предыдущего (выходной поток) эквивалентен входному воздействию последующего.

Этот метод получил название «физикализм» и направлен на использование новых, ранее не применяемых физических эффектов при конструировании известных технических систем.

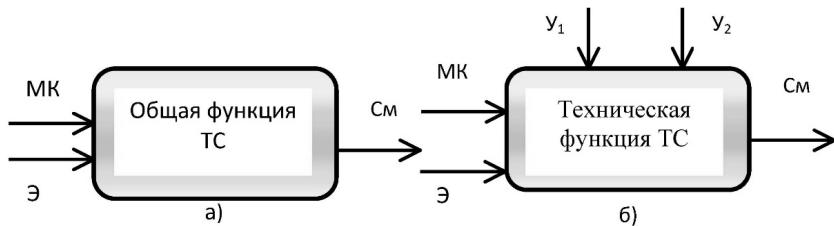


**Рис. 1.1**  
Структурная схема

*Общая функция смесителя (потребность)* — смещивание различных компонентов смеси до получения их равномерного распределения в общем объеме (рис. 1.2а).

Описание *технической функции* смесителя возможно при наличии сведений об источнике энергии, механизме преобразования, включения (выключения), реверсирования и регулирования (рис. 1.2б). Регулирование потока энергии подразумевает изменение кинематических параметров смесителя.

Располагая физические операции в определенной последовательности, можно построить потоковые функциональные структуры и определить физический принцип действия смесителя как технической системы. На основе анализа промышленных образцов смесительных машин ниже представлены их наиболее распространенные потоковые функциональные структуры (рис. 1.4а–д).

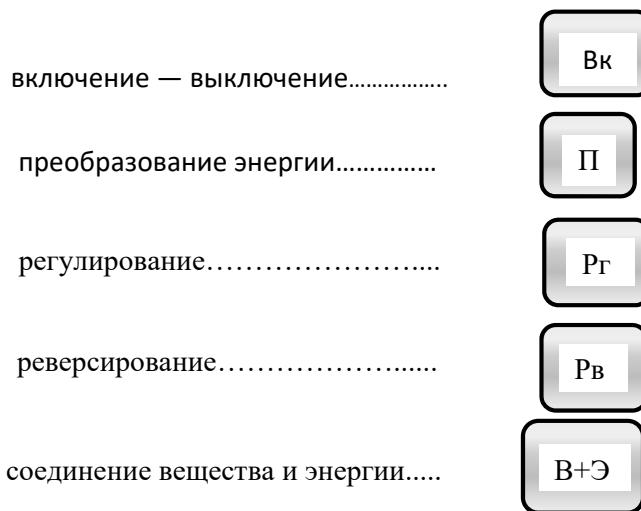


**Рис. 1.2**

Функциональные структуры «ТС-смеситель»:

МК — минеральные компоненты; См — готовая смесь; Э — энергия;  
 $Y_{1,2}$  — управляющие воздействия.

Потоковая функциональная структура «ТС-смеситель» включает следующие физические операции (рис. 1.3).



**Рис. 1.3**  
 Основные физические операции

Представленные потоковые ФС «ТС-смеситель» расположены по мере увеличения количества физических операций, включаемых в описание и указывают на возрастание сложности конструкций.

Потоковая ФС, представленная на рис. 1.4а, характерна для струйных, аэрационных, вихревых и др. типов смесителей, предназначенных для приготовления в основном жидких, газообразных смесей, «торкрет-бетонов».

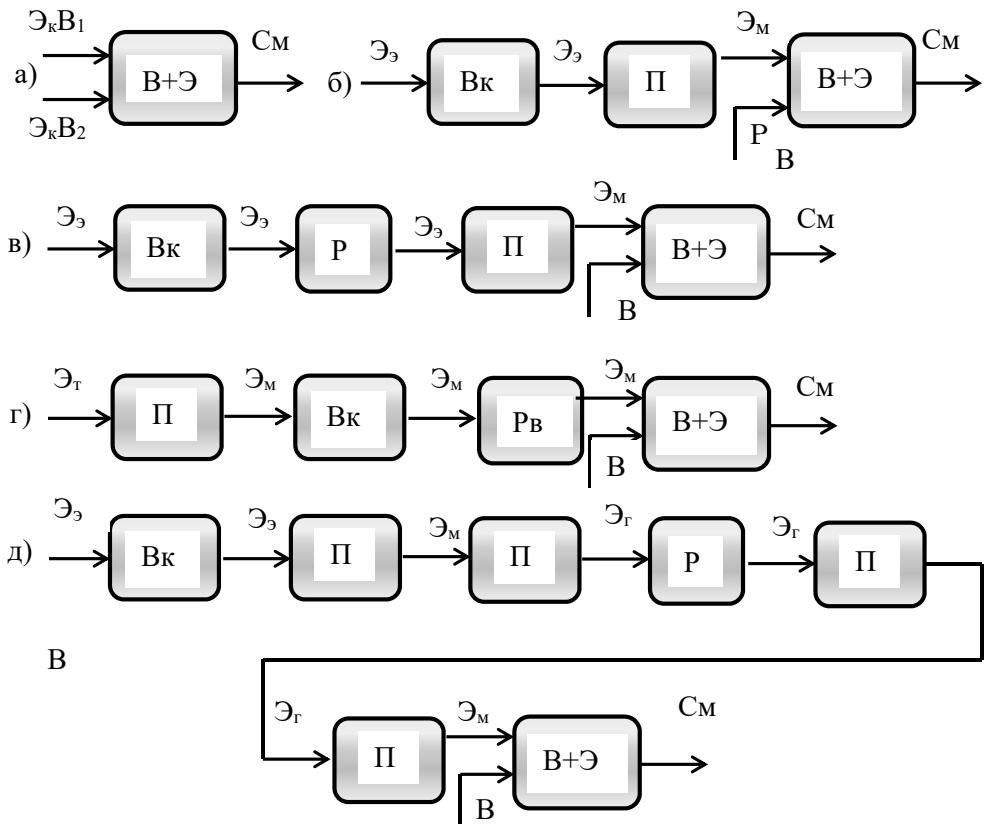


Рис. 1.4

Потоковые функциональные структуры:  
 $\text{Эк}$ ,  $\text{Эп}$ ,  $\text{Ээ}$ ,  $\text{Эм}$ ,  $\text{Эт}$ ,  $\text{Эг}$  — соответственно кинетическая, потенциальная, электрическая, механическая, тепловая и гидравлическая энергии.

Процесс перемешивания в вышеперечисленных смесителях осуществляется путем подачи компонентов смеси под давлением в камеру смещивания, геометрическая форма которой обеспечивает образование газо-гидродинамических потоков с высокоразвитой турбулентностью.

В большинстве смесителей процесс смещивания осуществляется за счет пространственного движения лопастных валов, вращения камеры смещивания либо их совмещения и требует подвода механической энергии. Следовательно, в потоковых ФС таких смесителей присутствует физическая операция преобразования энергии. Управление величиной механической энергии и ее подача

осуществляются операциями «регулирование» и «включение-выключение»; изменение направления вращения мешалки — операцией «реверсирование». Очевидно, что в совокупности эти физические операции составляют известное понятие — привод смесительных машин.

Смесительные машины, используемые в химической, пищевой и других промышленностях, а также в строительной индустрии, в своем большинстве имеют потоковую ФС, представленную на рис. 1.4б.

Потоковая ФС, представленная на рис. 1.4в, характерна для смесителей-миксеров с объемом замеса менее 20 литров, в которых регулирование частоты вращения перемешивающего органа обеспечивает приготовление смесей различных по составам и структурно-реологическим свойствам.

Потоковая ФС, представленная на рис. 1.4г, характерна для передвижных мешалок на автомобильном шасси.

Потоковая ФС, представленная на рис. 1.4д, имеет в своем составе преобразование механической энергии в гидравлическую, затем гидравлической в механическую. В конструкции смесителя используется гидравлический привод перемешивающего органа, что позволяет регулировать частоту вращения мешалки.

В операции преобразования электрической энергии в механическую используются электродвигатели (ФПС, рис. 1.4б). Регулирование в этом случае (ФПС, рис. 1.4в) осуществляется тиристорными либо частотными преобразователями. Регулирование механической энергии (ФПС, рис. 1.4г) осуществляется коробкой передач.

В каждом из перечисленных технических устройств используются конкретные физические эффекты. Таким образом, осуществляя поиск физических эффектов, ранее не применяемых, возможно проектирование новых технических устройств.

Процесс смещивания осуществляется операцией «соединение вещества и энергии». Очевидно, что повышение интенсивности процессов смещивания возможно только при применении новых физико-технических эффектов, за-

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)