

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических занятий  
по дисциплине

Направления и перспективы развития химических технологий

Направление подготовки – 15.04.02 Технологические машины и оборудование  
Профиль подготовки: Проектирование технологического оборудования

Ставрополь, 2022

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Направления и перспективы развития химических технологий». Указания предназначены для студентов заочной формы обучения направления подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

*Составители*

*Сыпко К.С.*

## Содержание

**Практическое занятие № 1.** Методы интенсификации химико-технологических процессов (ХТП) импульсными энергетическими воздействиями.

**Практическое занятие № 2.** Энергетические воздействия и физико-химические эффекты.

**Практическое занятие № 3.** Методика интенсификации ХТП импульсными энергетическими воздействиями.

**Практическое занятие № 4.** Импульсные физико-химические эффекты.

**Практическое занятие № 5.**

Импульсные физико-химические эффекты (продолжение)

**Практическое занятие № 6.** Оборудование, использующее электрические и электромагнитные генераторы колебаний.

**Практическое занятие № 7.** Оборудование, использующее механические генераторы колебаний в жидкости и газе.

**Практическое занятие № 8.** Оборудование, использующее механические генераторы колебаний в жидкости и газе (продолжение).

**Практическое занятие № 9.** Оборудование для импульсной механической обработки твердых тел.

## **Введение**

Дисциплина относится к дисциплине вариативной части дисциплины по выбору. Она направлена на формирование профессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Последовательность тем соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям студент должен изучить материал по соответствующей теме, используя основную и дополнительную литературу, а так же используя периодические издания СМИ.

## **Практическое занятие № 1. Методы интенсификации химико-технологических процессов (ХТП) импульсными энергетическими воздействиями.**

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### **Теоретическая часть**

Интенсификация химико-технологических процессов (ХТП) является одной из важных задач науки и техники. Основой увеличения производительности оборудования и снижения энергозатрат на проведение ХТП может служить создание и внедрение эффективных технологических аппаратов с малой удельной энергоемкостью и материалоемкостью, высокой степенью воздействия на обрабатываемые вещества. Подобные разработки базируются на принципиально новых инженерных решениях, теоретических и экспериментальных исследованиях физико-химических процессов в обрабатываемых средах при интенсивных импульсных воздействиях.

Научной базой для разработки аппаратов с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества должна стать новая методология, учитывающая взаимное влияние энергетических полей, физико-химических эффектов, трансформацию и инверсию видов энергетического воздействия. Учитывая многогранность этих задач, актуальным является анализ комбинаций воздействий и их влияния на интенсивность ХТП. Проблемой, сдерживающей разработку аппаратов для интенсификации ХТП и методов их расчета, является недостаточность систематизации и комплексности в подходе к интенсификации химико-технологических процессов при импульсных энергетических воздействиях, в исследовании комплекса физических, физико-химических и химических явлений, возникающих в обрабатываемых веществах.

Анализ физико-химических эффектов, возникающих при акустическом, механическом, электрическом, магнитном, тепловом, радиационном и химическом воздействиях на вещества показал, что эти воздействия вызывают изменение агрегатного состояния (полное или частичное), изменение физико-химических свойств сплошной фазы, дробление или коагуляцию дисперсных частиц, гомогенизацию среды. Правильно выбранное и управляемое воздействие способствует интенсификации ХТП.

## **Вопросы и задания:**

### Базовый уровень

1. Опишите основные понятия методологии интенсификации химико-технологических процессов.
2. Метод формального анализа параметров, влияющих на интенсивность ХТП.
3. Методы интенсификации ХТП.
4. Эффективность пульсационных методов интенсификации ХТП.

## **Практическое занятие № 2. Энергетические воздействия и физико-химические эффекты.**

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### **Теоретическая часть**

Под *воздействием* на обрабатываемую среду (физико-химическую систему) будем понимать направленное проявление сил различных физических полей: механических, электрических, магнитных, тепловых, акустических и радиационных (сводка основных воздействий и их результатов дана в табл. 1.1).

Воздействие всегда направлено на некоторый материальный объект, которым может быть отдельный элемент или совокупность взаимосвязанных элементов, образующих определенную систему. Результаты воздействия – это *физико-химические эффекты* (ФХЭ), проявляющиеся в элементах системы, на которые направлены определенные воздействия.

*Различают такие виды воздействий, как: акустические, электрические, магнитные, тепловые,*

*механические, радиационные, химические.* Некоторые из этих воздействий взаимосвязаны друг с другом, например, электрические и магнитные воздействия.

Т а б л и ц а 1.1. Классификация энергетических воздействий

<b>Виды воздействий</b>	<b>Факторы воздействий</b>	<b>Физико-химические эффекты</b>	<b>Результаты воздействия</b>
1	2	3	4
Электрические	Электрические поля различной структуры	Электросепарация, электрофорез, электроосмос, эффект Юткина, электрокоагуляция, электрохимические эффекты, электронагрев	Изменение физико-химических параметров, трансформация электроэнергии в механическую, тепловую, электрическую, химическую и др. энергии
Магнитные	Магнитные поля различной структуры	Эффект Риги-Ледюка, магнитосепарация, магнитогидродинамический эффект, магнито-химические эффекты	Изменение физико-химических параметров, трансформация магнитной энергии в механическую, тепловую, электрическую и др. энергии

1	2	3	4
Акустические	Упругие и квазиупругие колебания в жидкости	Акустические волны, акустическая турбулентность, кавитация, кумулятивный эффект, звукохимические реакции, резонанс, расклинивающее давление, автоколебания, капиллярный эффект	Пульсации давления, кумулятивный удар, изменение физико-химических свойств, активация, трансформация акустической энергии в механическую, сонолиз
Тепловые	Нагрев, охлаждение (тепловые потоки)	Теплопередача, теплопроводность, тепловое излучение, конвекция, эффект Соре, эффект Марангони, термоэффекты	Кипение, конденсация, фазовые переходы, инверсия фаз, изменение физико-химических параметров, трансформация тепловой энергии в механическую, радиационную и др.
Световые и радиационные	Электромагнитные волны, инфракрасное, световое, ультрафиолетовое, рентгеновское, $\gamma$ -излучение	Ионизация, энергетическая накачка, фотохимические реакции, возбуждение молекул	Изменение физико-химических свойств вещества, активация, излучение, трансформация энергии излучения в тепловую и др.
Механические	Удар, сдвиг, сжатие, растяжение, вибрация, формирование потоков с определенной траекторией, скоростью и ускорением	Гидроудар, турбулентность, эффект Кармана, трибозффект, эффект Рейнольдса, автоколебания, активация, накопление дефектов структуры, концентрация напряжений	Пульсации давления и скорости потока жидкости, трансформация кинетической энергии в потенциальную и др., энергетическая накачка

Все физико-химические эффекты, возникающие при энергетических воздействиях на вещества, можно разделить на четыре иерархических уровня [2]:

1) совокупность явлений на атомарно-молекулярном уровне; эффекты в масштабе надмолекулярных или глобулярных структур;

2) множество физико-химических явлений, связанных с движением единичного включения дисперсной фазы, с учетом химических реакций

явлений межфазного энерго- и массопереноса;



3) физико-химические процессы в ансамбле включений, перемещающихся стесненным образом в потоке основной фазы;

4) совокупность процессов, определяющих макрогидродинамическую обстановку в масштабе аппарата.

При энергетическом воздействии на обрабатываемую среду протекают различные физикохимические процессы, сопровождающиеся какими-либо эффектами. Результаты воздействия – это эффекты, проявляющиеся в жидкости, газе, твердых телах или в гетерогенной смеси. При постоянстве условий, вида воздействия и свойств обрабатываемой среды проявляются одни и те же результаты воздействия.

### **Вопросы и задания:**

Базовый уровень

1. Приведите классификацию энергетических воздействий на ХТП
2. Охарактеризуйте виды энергетических воздействий
3. Охарактеризуйте акустическое воздействие
4. Охарактеризуйте электрическое воздействие
5. Охарактеризуйте магнитное воздействие
6. Охарактеризуйте тепловое воздействие
7. Охарактеризуйте механическое воздействие
8. Охарактеризуйте радиационное воздействие
9. Охарактеризуйте химическое воздействие

Повышенный уровень

1. Охарактеризуйте закономерности энергетических воздействий

### **Практическое занятие № 3. Методика интенсификации ХТП импульсными энергетическими воздействиями.**

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### **Вопросы и задания:**

Базовый уровень

1. Понятие энергетического воздействия
2. Понятие физико-химического эффекта.
3. Виды энергетических воздействий.
4. Закономерности энергетических воздействий.

## Практическое занятие № 4. Импульсные физико-химические эффекты.

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### Теоретическая часть

Одним из факторов воздействия на обрабатываемую среду служат акустические эффекты, обусловленные пульсациями давления и скорости потока жидкости или газа. Для повышения эффективности работы машин и аппаратов с импульсным энергетическим воздействием (МАИЭВ) ис-

*пользуются дополнительные источники акустических колебаний и вибраций.*

*Дополнительные ис-*

точники акустических колебаний и вибраций можно разделить на *активные*, которые требуют ав-

тономного источника энергии для генерирования колебаний, и *пассивные*, которые приводятся в колебательное движение за счет энергии обрабатываемой среды.

Технологические системы, включающие в себя МАИЭВ, содержат также технологическое оборудование и трубопроводы, связывающие систему в единый комплекс. С точки зрения акустики, это оборудование и трубопровод имеют свои собственные резонансные частоты и могут содержать дополнительные источники акустических колебаний. В МАИЭВ, как генераторах энергетических (акустических) импульсов, акустические поля вспомогательного технологического оборудования в совокупности формируют сложную картину и тем самым оказывают определенное влияние на интенсивность проводимых процессов. Это влияние может дать как положительный, так и отрицательный эффект и его необходимо учитывать. Синхронизация собственных акустических эффектов технологического оборудования и дополнительных источников акустических колебаний с основными генераторами гидроакустических импульсов – МАИЭВ, будет благоприятно сказываться на интенсификации химикотехнологических процессов. В этом случае, могут иметь место автоколебательные и резонансные режимы работы МАИЭВ и технологической системы, КПД при таких режимах значительно выше.

Колебания давления и скорости, наложенные на осредненное течение, могут служить причиной возмущающего воздействия на устойчивость и структуру течения. В случае ламинарного течения эти воздействия могут ускорить или замедлить переход к турбулентному режиму течения, а в случае турбулентного потока – существенно изменить гидродинамические характеристики потока, в частности спектр турбулентности, и даже привести к образованию вихревых течений [28, 29].

Экспериментальные работы по исследованию влияния колебаний на гидродинамику турбулентных потоков в каналах показали, что при наличии наложенных регулярных колебаний скорости взаимодействие турбулентных пульсаций с наложенными регулярными колебаниями возможно в том случае, когда частота наложенных регулярных колебаний

скорости совпадает с частотой турбулентных пульсаций, соответствующей малым волновым числам.

Вслучае высокочастотных колебаний, когда период регулярных возмущений совпадает с минимальным периодом турбулентных пульсаций, картина течения существенно усложняется: регулярные колебания могут взаимодействовать с турбулентными пульсациями, в результате чего спектр турбулентных колебаний может измениться. В спектре одновременно будут существовать как случайные турбулентные колебания, так и регулярные.

Втурбулентном потоке возникают когерентные структуры – крупномасштабные периодические вихревые образования, развивающиеся и взаимодействующие друг с другом. Когерентные структуры чувствительны к различного рода периодическим возмущениям, управление ими может привести как к интенсификации, так и к замедлению ХТП.

Таким образом, установлено, что взаимодействие акустического поля и турбулентных составляющих может привести к изменению интенсивности и спектра турбулентных пульсаций. Если частота колебаний совпадает с частотой колебаний относительно больших вихрей, которые в основном обуславливают турбулентное перемешивание жидкости, то наступает *турбулентный резонанс*, приводящий к усилению интенсивности турбулентных пульсаций

### **Вопросы и задания:**

#### Базовый уровень

1. Какие особые точки фазового портрета относятся к состояниям устойчивого и неустойчивого равновесия?

2. Как зависит амплитуда и фаза скорости (тока) осциллятора от частоты внешнего воздействия?

3. Поясните зависимость амплитуды и фазы смещения (заряда) от частоты.

4. Почему скорость, ускорение и амплитуда колебаний достигают максимальных значений на разных частотах?

5. В чем суть перехода колебаний в системах с конечным числом степеней свободы к волновым процессам в системах с распределенными параметрами?

6. Что такое акустический импеданс среды?

7. Проведите аналогию между согласованием импедансов двух сред с согласованием импедансов нагрузки и линии передачи.

8. Поясните физическую природу дисперсионных явлений при распространении волн в дискретных и сплошных средах.

#### Повышенный уровень

1. Может ли групповая скорость быть больше фазовой?

2. Что такое пространственная и временная когерентность волн?

2. Охарактеризуйте процесс кавитации.

3. Автоколебания и резонанс.

4. Звукокапиллярный эффект.

## Практическое занятие № 5. Импульсные физико-химические эффекты (продолжение)

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### Теоретическая часть

Гидравлический удар – результат резкого изменения давления в жидкости, вызванный мгновенным изменением скорости ее течения в трубопроводе.

Явления, происходящие при гидравлическом ударе, объясняются на основе свойства сжимаемости капельных жидкостей. После закрытия задвижки на горизонтальном трубопроводе постоянного диаметра, по которому движется жидкость со средней скоростью  $V$ , слой жидкости, находящийся непосредственно у задвижки, мгновенно останавливается. Затем последовательно прекращают движение слои жидкости (завихрения, противотоки) на увеличивающемся со временем расстоянии от задвижки. При этом уплотняется ранее остановившаяся масса жидкости и в результате повышения давления несколько расширяется труба. В трубу войдет дополнительный объем жидкости.

Так как жидкость сжимаема, то вся ее масса в трубопроводе не останавливается мгновенно. Граница объема, включающего в себя остановившуюся жидкость, перемещается от задвижки вдоль трубопровода с некоторой скоростью  $c$ , называемой скоростью распространения волны давления.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. В чем физическая сущность гидравлического удара?
2. Виды гидравлического удара.
3. Назовите формулы для определения повышения давления при гидроударе.
4. Какие средства предусмотрены для защиты трубопровода от гидроудара?
5. Турбулентность

Повышенный уровень

1. Вихреобразование.
2. Механическая активация.

## Практическое занятие № 6. Оборудование, использующее электрические и электромагнитные генераторы колебаний.

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### Теоретическая часть

Электрическое воздействие осуществляется за счет электрических полей различной структуры: постоянные (однородные и неоднородные); переменные (бегущие); скрещивающиеся (электрические и магнитные) [28]. ХТП с использованием электрических полей можно разделить на процессы, которые осуществляются только за счет электрического поля (электродиализ, электроосмос и т.д.), и процессы, которые интенсифицируются электрическим полем (сушка, экстракция, кристаллизация и т.п.).

Электрические (электромагнитные) поля характеризуются частотой (промышленные частоты – 50 Гц, 60 Гц; поле токов высокой частоты – до 300 МГц; поля токов сверхвысокой частоты – от 0,3 до 30 ГГц), напряжением или силой тока, длительностью воздействия.

Электрическое поле воздействует на дипольные молекулы жидкостей и газов. При этом возникают пондеромоторные силы, вызванные наложением полей, поляризационные заряды, направление которых обусловлено разностью диэлектрической проницаемости среды. Эти силы изменяют поверхностное натяжение жидкостей [29 – 31]. Протекание электрического тока через электролиты приводит к электролизу. В коллоидных системах и капиллярно-пористых телах наблюдаются такие процессы, как электрофорез, электроосмос, электродиализ, электрокоагуляция, ионофорез и др. [28]. Воздействие электрического тока на проводящие среды вызывает их нагрев за счет выделения тепла и пробой при высоких напряжениях [31].

Таким образом, электрическое поле в обрабатываемой среде вызывает следующие физикохимические эффекты:

1) *электросепарация* – разделение гетерогенной среды за счет разности электропроводности фаз;

2) *электрофорез* – перенос частиц в электрическом поле вследствие наличия разноименных зарядов

твердой и жидкой фаз;

3) *электроосмос* – перемещение жидкости вдоль стенок капилляра под действием приложенной

ЭДС;

4) *эффект Юткина* (электрогидравлический удар) – генерация ударных волн в жидкости при ее электрическом пробое [32];

5) *электрокоагуляция* – процесс сближения и укрупнения взвешенных в жидкости или газе частиц под действием электрического поля;

6) *электрохимические эффекты* – химические превращения под действием электрического тока (электролиз);

7) *электронагрев* – выделение тепла за счет прохождения через обрабатываемую среду электрического тока.

При электрическом воздействии на жидкость возможно его преобразование в механическое, тепловое, химическое, акустическое, магнитное и радиационное воздействия.

### **Вопросы и задания:**

Базовый уровень

1. Охарактеризуйте ультразвуковое оборудование.
2. Охарактеризуйте электромагнитные импульсные устройства.
3. Охарактеризуйте импульсные электродинамические и электроразрядные устройства.
4. Охарактеризуйте магнитоимпульсные аппараты.
5. Охарактеризуйте вихревые аппараты.

## **Практическое занятие № 7. Оборудование, использующее механические генераторы колебаний в жидкости и газе.**

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

### **Теоретическая часть**

В промышленности для транспортировки жидкостей применяют разнообразные механические насосы (центробежные, поршневые, сильфонные и т.п.) и в некоторых случаях – эрлифты. Любые насосы: центробежные, вихревые, ротационные, шестеренчатые, мембранные, шнековые и другие – осуществляют подачу жидкости дискретно. Дискретность подачи жидкости в насосах обусловлена конечным числом рабочих элементов. В этом случае насос является дополнительным источником гидроакустических колебаний. Спектр акустического поля дополнительного источника колебаний является сплошным, с ярко выраженными дискретными составляющими.

### **Вопросы и задания:**

Базовый уровень

1. Охарактеризуйте пульсационные и вибрационные транспортирующие и перемешивающие устройства для жидкостей.
2. Охарактеризуйте пульсационный центробежный насос.

3. Охарактеризуйте пульсационный клапанный насос.
4. Охарактеризуйте пульсационной перемешивающее устройство.
5. Охарактеризуйте пульсационные колонны.
6. Охарактеризуйте пульсационные аппараты роторного типа.

### **Практическое занятие № 8. Оборудование, использующее механические генераторы колебаний в жидкости и газе (продолжение).**

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

#### **Вопросы и задания:**

Базовый уровень

1. Охарактеризуйте вибрационные аппараты.
2. Охарактеризуйте резонансные и автоколебательные системы для жидкостей.
3. Охарактеризуйте гидродинамические генераторы.
4. Охарактеризуйте суперкавитирующие аппараты.

Повышенный уровень

5. Охарактеризуйте резонансные и автоколебательные системы для газа.
6. Охарактеризуйте свистки.
7. Охарактеризуйте генератор Гартмана.
8. Охарактеризуйте клапанные генераторы.
9. Охарактеризуйте динамические сирены.

### **Практическое занятие № 9. Оборудование для импульсной механической обработки твердых тел.**

**Цель занятия:** Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

#### **Теоретическая часть**

Лучшими, с точки зрения механической активации, являются измельчители, реализующие либо локальные высокие давления с истиранием и сдвигом, либо

высокоскоростной удар. Конструктивное оформление механоактиваторов в ряде случаев совпадает с конструктивным оформлением мельниц тонкого и сверхтонкого помола материалов: центробежно-планетарных, дезинтеграторов, многоступенчатых ударно-отражательных мельниц, струйных мельниц, диспергаторов различного конструктивного оформления.

Все конструкции механоактиваторов можно разбить на три группы. К первой группе относятся активаторы для систем газ – твердое вещество, в которых механоактивация происходит при параллельном тонком измельчении твердой фазы (центробежно-планетарные, дезинтеграторы, центробежные, многоступенчатые, ударно-отражательные и т.д.). Достоинство таких машин – возможность достижения высокой степени измельчения и активации порошков. Наибольшую активацию обеспечивают центробежно-планетарные активаторы-измельчители при сложном характере движе-

ния активирующих и измельчающих шаров. Однако в них наблюдается и наибольшая степень загрязненности активируемых порошков продуктами намола шаров и корпусов машин. Кроме этого, большая напряженность элементов конструкций снижает срок службы этих механизмов и сильно усложняет реализацию процесса активации при средних и больших производительностях по активируемым порошкам. Поэтому в промышленности наиболее часто используются активаторы, реализующие многократный высокоскоростной удар (дезинтеграторы, многоступенчатые, ударноотражательные, центробежные мельницы), но они предназначены для активации и измельчения мягких и средней твердости материалов, так как при высокоскоростном ударном нагружении твердых, абразивных материалов быстро выходят из строя малогабаритные рабочие органы активаторов.

Ко второй группе можно отнести активаторы для систем жидкость – твердое, в которых активизируются полимерные и коллоидные субстанции за счет высоких скоростей сдвига при одновременном наложении на касательные сдвиговые напряжения мощных импульсных напряжений при схлопывании искусственно генерируемых кавитационных пузырьков.

В третьей группе объединены механоактиваторы, используемые для абразивных материалов. В таких машинах, работа которых основана на многократном высокоскоростном ударном нагружении в слое активируемого материала, не происходит загрязнения материалов, остаточная кинетическая энергия частиц порошков затрачивается на процесс их истирания в слое и сравнительно просто реализуются комбинированные процессы теплообмена, смешения, измельчения и классификации, а также химических реакций в системе газ – активируемые в объеме реактора порошки.

В мельницах ударного действия материал разрушается высокоскоростным ударом частиц о рабочие органы или друг о друга. Преимущество таких мельниц – это компактность, относительно малая металлоемкость, возможность получения тонкодисперсных порошков при относительно малых энергозатратах, высокая степень механохимической активации продуктов помола. Общим недостатком мельниц этой группы является быстрый абразивный износ мелющих органов, что ограничивает межремонтный ресурс, а в ряде случаев делает их неприменимыми, если в продуктах измельчения недопустимо содержание намола металла.

По способу подвода энергии к материалу эти мельницы можно разделить на механические и пневматические (струйные). Известно большое количество механических ударных мельниц, но наиболее употребительны дезинтеграторы, дисмембраторы, ударно-отражательные мельницы в малотоннажных технологиях и молотковые мельницы – в крупнотоннажных.

### **Вопросы и задания:**

Базовый уровень

1. Охарактеризуйте мельницы ударного действия.



2. Охарактеризуйте мельницы ударно-отражательного действия.
3. Охарактеризуйте струйные мельницы.
4. Охарактеризуйте барабанные мельницы.
5. Охарактеризуйте вибрационные мельницы.
6. Охарактеризуйте аппараты взрывного типа.

**Перечень основной литературы:**

1. Разинов, А.И. Процессы и аппараты химической технологии Электронный ресурс : учебное пособие / Г.С. Дьяконов / А.В. Клинов / А.И. Разинов. - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. - 860 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-7882-2154-0, экземпляров неограничено
2. Семакина, О. К. Машины и аппараты для переработки минерального сырья Электронный ресурс : Учебное пособие / О. К. Семакина, Д. А. Горлушко. - Томск : Томский политехнический университет, 2014. - 91 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4387-0359-4, экземпляров неограничено

**Перечень дополнительной литературы:**

1. Борисенко, И. Л. Передовой опыт и интенсификация производства / И. Л. Борисенко. - Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1990. - 184 с. - Библиогр.: с. 180-183. - ISBN 5-7455-0438-2.
2. Научно-технический прогресс и интенсификация производства / под ред. А. Е. Когута. - СПб. : Лениздат, 1987. - 168 с. - Библиогр.: с. 166-167.