

ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Химические реакторы



ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

- Реакционные аппараты – основное оборудование химических предприятий
- Химическим реактором называют аппарат, в котором происходит химическая реакция
- Химические реакции могут сопровождаться тепловыми эффектами, а следовательно, возникает необходимость подвода или отвода теплоты и регулирования температуры
- Многие химические процессы протекают в присутствии катализаторов, следовательно возникает необходимость обеспечить хороший контакт реагирующих веществ с катализатором, а также обеспечить его загрузку, выгрузку и регенерацию
- Конструкции реакторов зависят от типа химической реакции, наличия или отсутствия катализатора, теплового и гидродинамического режимов, способа подвода и отвода реагентов и др.
- Реакционные аппараты по большей части индивидуальны по конструкции

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОМЫШЛЕННЫМ РЕАКТОРАМ

- 1) Максимальная производительность и интенсивность работы
- 2) Высокий выход продукта и наибольшая селективность процесса. Они обеспечиваются оптимальным режимом работы реактора: температурой, давлением, концентрацией исходных веществ и продуктов реакции. Каталитический реактор должен также обеспечить эффективное применение катализатора.
- 3) Минимальные энергетические затраты на перемешивание и транспортировку материалов через реактор, а также наилучшее использование теплоты экзотермических реакций или теплоты, подводимой в реактор для нагрева реагирующих веществ до оптимальных температур.
- 4) Легкая управляемость и безопасность работы. Эти условия обеспечиваются рациональной конструкцией реактора и малыми колебаниями параметров технологического режима, позволяющими легко автоматизировать работу реактора.
- 5) Низкая стоимость изготовления реактора и ремонта его.
- 6) Устойчивость работы реактора при значительных изменениях основных параметров режима (С, Т, Р и др.).

3

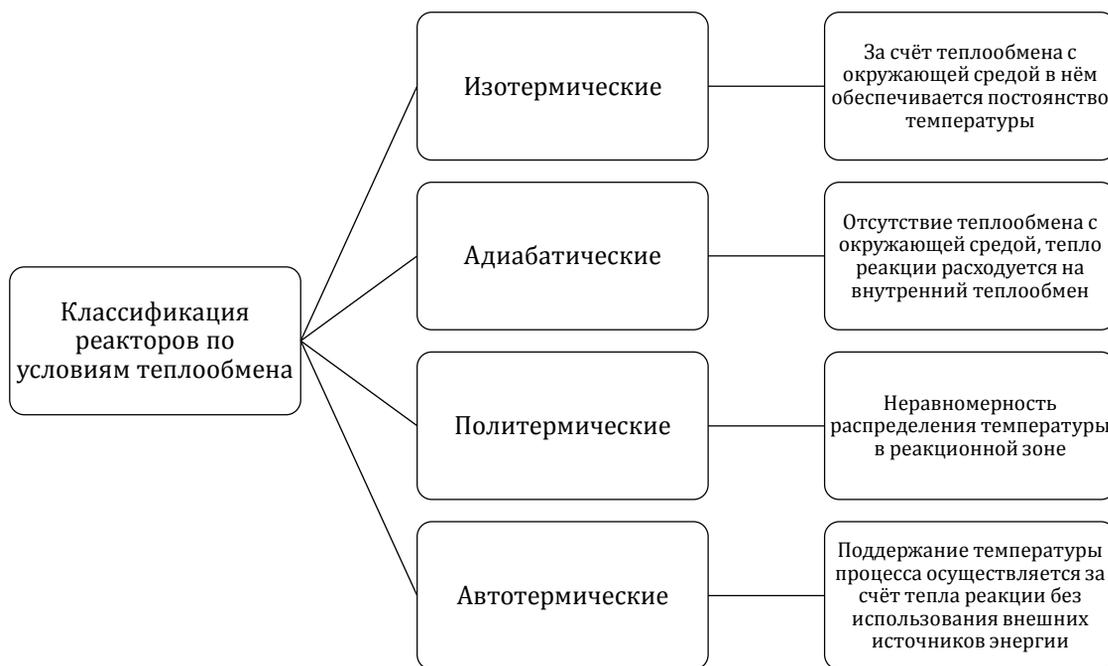
КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

- Реакторы классифицируют по следующим признакам:
 - 1) режим движения реакционной среды (гидродинамический режим в реакторе);
 - 2) условия теплообмена в реакторе;
 - 3) фазовый состав реакционной смеси;
 - 4) способ организации процесса;
 - 5) характер изменения параметров процесса во времени;
 - 6) конструктивные характеристики

4



5



6



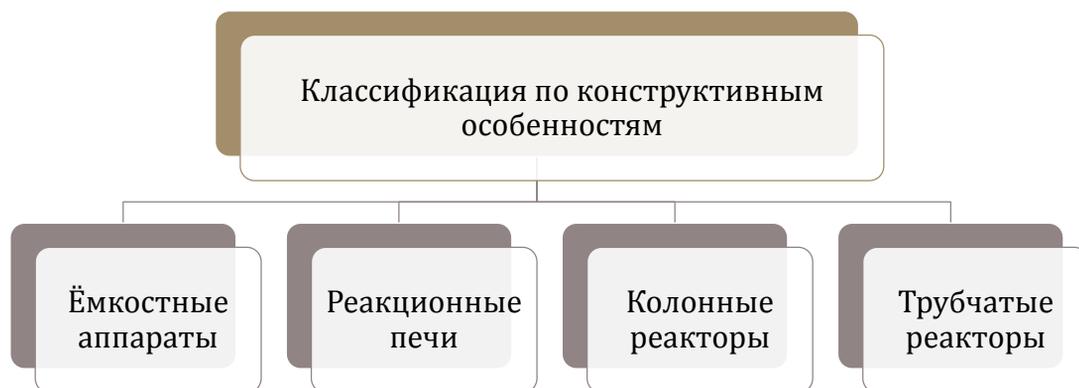
7



8



9



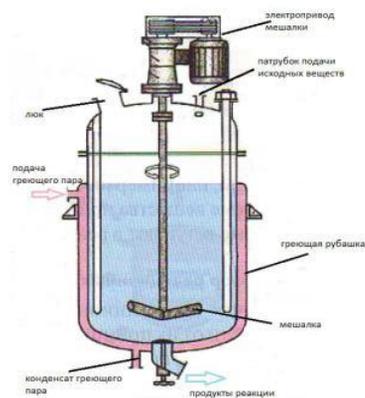
10

ЁМКОСТНЫЕ РЕАКТОРЫ

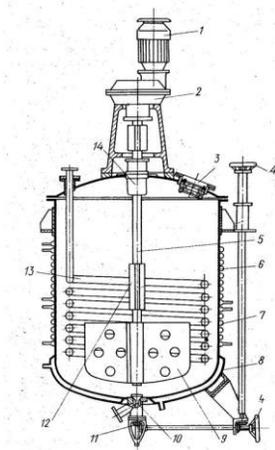
- Одни из наиболее распространенных реакционных аппаратов.
- Химическая реакция протекает в рабочем объеме – емкости, куда через специальный штуцер загружают сырье, а через сливной штуцер осуществляют выгрузку продукта.
- В ёмкостных реакторах проводят гомогенные реакции в жидкой фазе или гетерогенных реакций в системах жидкость–жидкость (эмульсии) и жидкость–твердое вещество (суспензии).
- Ёмкостные реакторы могут быть периодическими и проточными.
- Конструкции реакторов зависят в основном от вязкости среды и определяются различным исполнением мешалок.
- Такие реакторы часто используют для исследований и отработки технологического процесса, а также для периодических процессов; при этом в реакторе кроме синтеза проводят также другие технологические операции (промывку, экстракцию, расслаивание и т. д.).
- Внутренняя поверхность ёмкостных реакторов легко доступна для осмотра, очистки, нанесения покрытий и часто выполняется из материалов, стойких к коррозионному воздействию реакционной среды.

11

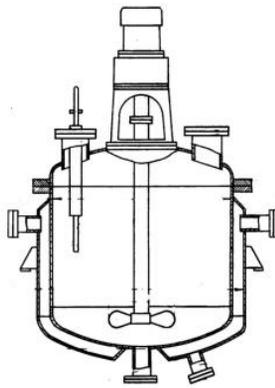
- Ёмкостной реактор изготавливают в виде емкости с крышкой, на которой имеются штуцеры для загрузки и люки
- Реакторы часто снабжены перемешивающим устройством и рубашкой для термостатирования
- В качестве теплообменных элементов применяют также змеевики
- Вместимость реакторов от 0,04 до 200 м³ и рабочее давление до 10 МПа



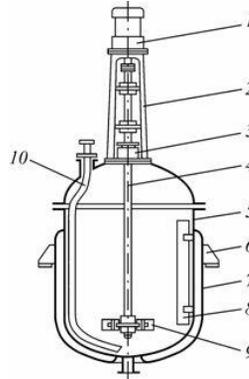
12



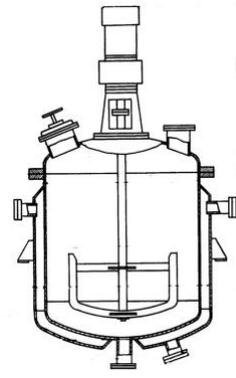
Реактор со змеевиковыми
обогревательными
элементами



Реактор с пропеллерной
мешалкой

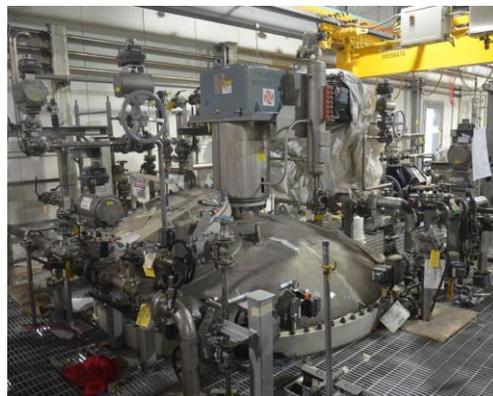


Реактор с трубой
для
передавливания



Реактор с
рамной
мешалкой

13

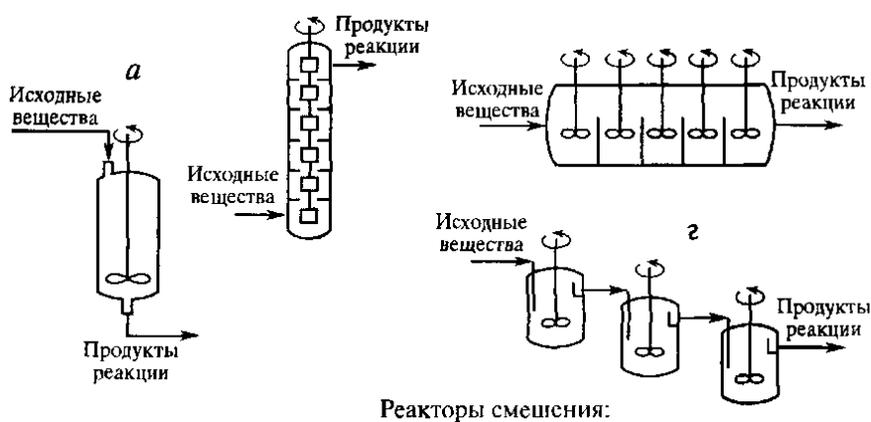


<https://www.youtube.com/watch?v=ou0lDua80x4>

14

- Ёмкостные аппараты с мешалками предназначены для периодических процессов
- Реакторы этого типа наиболее широко применяются для проведения таких процессов как нитрование, сульфирование, полимеризация и др.
- Для организации непрерывного процесса устанавливают каскад из ёмкостных аппаратов, через которые последовательно перетекают реагирующие вещества
- Непрерывный процесс также осуществляют в горизонтальных или вертикальных аппаратах, разделённых на секции, в каждой из которых установлена своя мешалка
- В каскаде значительно активизируется перемешивание за счет уменьшения реакционного объема, снижения отрицательного влияния застойных зон и зон циркуляции. В конечном счете, это приводит к достижению более высоких значений степени превращения исходных веществ и выхода продуктов реакции.
- Химическая реакция распределяется по нескольким реакционным сосудам. Концентрация реакционной массы в отдельных баках изменяется ступенями до достижения концентрации продукта реакции

15



Реакторы смешения:

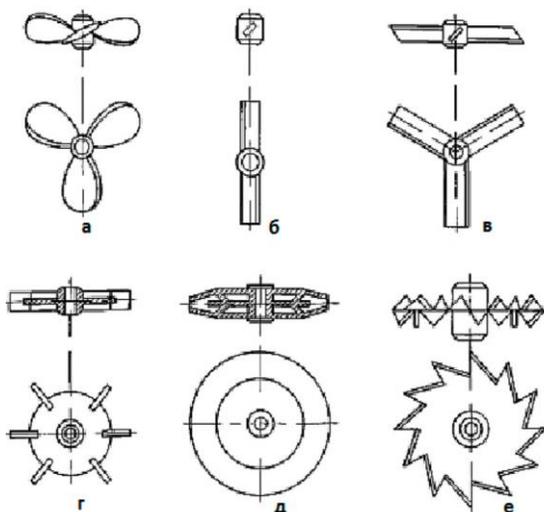
- а - одноступенчатый;
- б - вертикальный многоступенчатый;
- в - многосекционный горизонтальный;
- г - каскад (батарея) реакторов смешения

16

ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

- Основная задача перемешивания – равномерное распределение вещества или температуры в перемешиваемом объёме
- Иногда перемешивание служит для эмульгирования одной жидкости в другой или диспергирования твёрдой фазы, а также для создания высоких скоростей среды около теплообменных поверхностей с целью интенсификации теплообмена
- В зависимости от частоты вращения мешалки делят на тихоходные (лопастные, рамные, якорные, листовые, окружная скорость концов лопастей примерно 1 м/с) и быстроходные (турбинные, пропеллерные, окружная скорость концов лопастей примерно 10 м/с и более)
- При выборе типа мешалки учитывают требования процесса, свойства жидкости (вязкость, наличие осадков, форму аппарата и др.)
- Для перемешивания высоковязких сред при ламинарном режиме используют ленточные, скребковые и шнековые мешалки.
- Для перемешивания жидкостей сравнительно невысокой вязкости применяют тихоходные мешалки якорные и рамные.

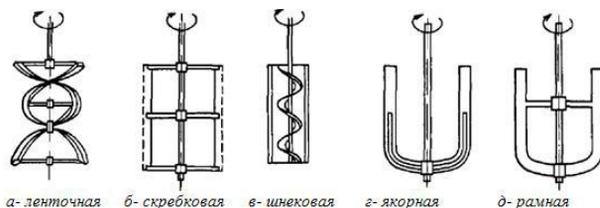
17



Быстроходные мешалки:

а – пропеллерная,
 б – двухлопастная,
 в – трехлопастная,
 г – турбинная открытая,
 д – турбинная закрытая,
 е – фрезерная.

18



Конструкции тихоходных мешалок

<https://www.youtube.com/watch?v=OxCpDfa5awk>

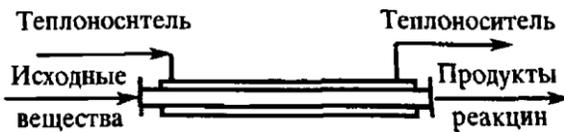
<https://www.youtube.com/watch?v=JZ85047U8qE>

19

ТРУБЧАТЫЕ РЕАКТОРЫ

- Широко распространены в химической промышленности для проведения процессов с большим тепловыделением.
- Реакторы этого типа довольно сложны по конструкции и имеют значительную стоимость.
- При турбулентном режиме течения реакционной массы трубчатый реактор близок к реактору идеального вытеснения.
- В вертикально установленных трубчатых реакторах при определенных условиях возникает циркуляционный режим движения реакционной массы, аналогичный естественной конвекции, т. е. в ряде трубок происходит движение жидкости (или газа) против основного движения реакционной массы через аппарат. В этом режиме трубчатый реактор близок к аппарату идеального смешения.
- Часто применяют конструктивно простые реакторы типа реакционной трубы с рубашкой. Используют такие реакторы для систем газ-газ или жидкость-жидкость (например, для полимеризации этилена).

20

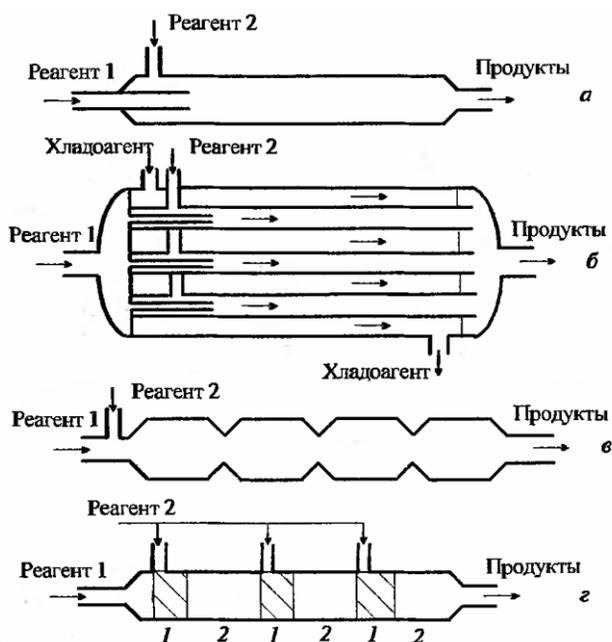


Трубчатый реактор однотрубный



Трубчатый реактор многотрубный

21



Трубчатые турбулентные реакторы цилиндрической (а); кожухотрубчатой (б), диффузор-конфузорной (в) и "зонной" (г) конструкции
1 - зона реакции; 2 - зона охлаждения

Применяют для проведения быстрых химических реакций, массообменных жидкофазных процессов в промышленности: Производство полимеров, каучуков и др.

22

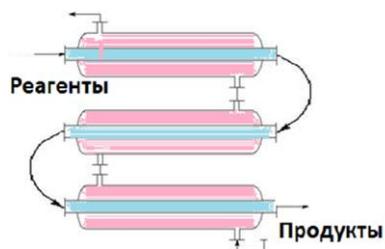


Трубчатый реактор
производства
полиэтилена



23

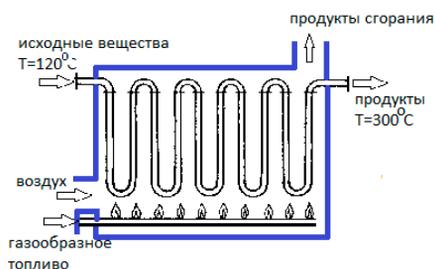
- Если требуется достаточно большое время пребывания реакционного потока в зоне реакции, то выбирают многосекционный аппарат типа "труба в трубе"
- Аппараты этого типа непрерывные, змеевиковые с поверхностным теплообменом. Используются для процессов при сравнительно небольшом времени пребывания исходных веществ в зоне реакции.
- Недостатки аппаратов: большой расход металла, значительная длина, большое количество соединений, большие гидравлические сопротивления, сложность осмотра, чистки, ремонта.
- Достоинства: отсутствие утечек через уплотнительные устройства, возможность применения высоких давлений, реализация режима идеального вытеснения при турбулентном характере движения смеси в трубах.



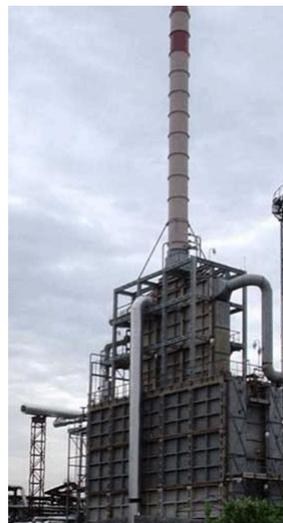
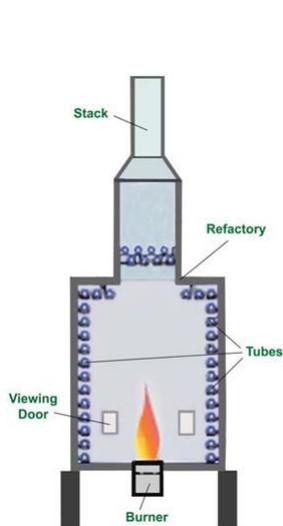
24

РЕАКЦИОННЫЕ ПЕЧИ

- Реакторы типа реакционной печи обычно работают при температуре более 600°C и изготавливаются из огнеупорной керамики или термостойкой стали.
- Области применения реакторов этого типа: окисление углеводородов (в ацетилен или синтез-газ), получение этилена из этана, обжиг известняка, доломита, пирита, сернистого цинка и т. д.
- Для проведения крекинга углеводородов и реакций дегидрогенизации используют реактор типа печи со встроенным трубчатым теплообменным устройством. Труба иногда заполняется катализатором.



25



Трубчатая печь для крекинга углеводородов

26



Змеевики трубчатых печей

<https://www.youtube.com/watch?v=CsMPZ6Son1s>

<https://www.youtube.com/watch?v=-L12iuuwQjI>

27

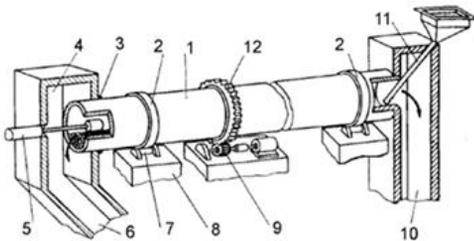


Схема вращающейся трубчатой печи для обжига известняка:

1 - барабан; 2 - бандажи; 3 - уплотнение; 4 - топочная камера (горячая головка); 5 - топливосжигающее устройство; 6 - разгрузочная течка; 7 - опорные ролики; 8 - фундамент; 9 - привод барабана; 10 - газоотводная камера (головка печи); 11 - загрузочное устройство; 12 - венцовая шестерня



<https://www.youtube.com/watch?v=aBF4NWDkPU4>

28

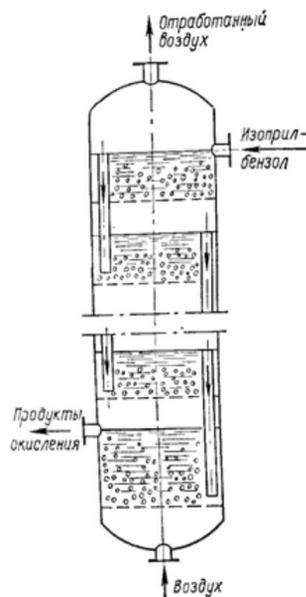
КОЛОННЫЕ РЕАКТОРЫ

- Колонные реакторы представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты, в которых могут быть размещены насадки, сита, тарелки, змеевики для охлаждения и иные теплообменные устройства, распределительные устройства для организации потоков жидкостей и газов.
- Колонные реакторы с насадкой чаще всего используют для проведения реакций в гетерогенной системе газ–жидкость и широко применяются в промышленности благодаря простоте конструкции и безопасности в эксплуатации.
- Колонные аппараты с тарелками используют для тех же целей, что и колонные аппараты с насадкой.
- Преимущество этих аппаратов заключается в возможности охлаждения на тарелках при экзотермических реакциях.

31

Реактор колонного типа для окисления изопропилбензола

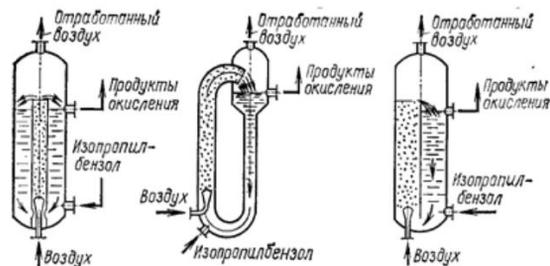
- Представляет собой секционированную колонну с барботажными тарелками
- На каждой тарелке расположен змеевик водяного охлаждения для отвода теплоты реакции
- Сырьё подается на верхнюю тарелку и по сливным трубам перетекает на нижележащие тарелки
- Воздух, необходимый для окисления, поступает под нижнюю тарелку и поднимается вверх, барботируя через слой жидкости на каждой тарелке
- Температуру на каждой тарелке регулируют подачей воды в змеевик



32

РЕАКТОРЫ ЭРЛИФТНОГО ТИПА

- Принцип работы основан на разности плотностей аэрированного и неаэрированного столбов жидкости в реакторе, состоящем из двух сообщающихся сосудов
- В эрлифт снизу подаётся распылённый воздух, который барботирует через слой жидкости в виде мелких пузырьков
- Сырьё поступает в нижнюю часть неаэрированного слоя
- Благодаря разнице плотностей происходит выталкивание более лёгкой жидкости тяжёлой
- В эрлифте происходит процесс окисления
- Реакционная масса через верх эрлифта перетекает в неаэрированный слой и выводится
- Отработанный воздух отделяется в верхней части аппарата
- Реакторы эрлифтного типа также располагают в виде каскада



33

РЕАКТОРЫ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

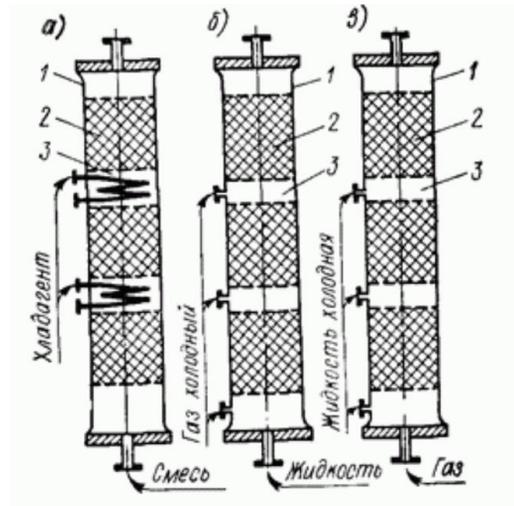
Различают:

- реакторы с неподвижным слоем катализатор;
- реакторы с движущимся слоем катализатора;
- реакторы с псевдоожиженным (кипящим) слоем катализатора

34

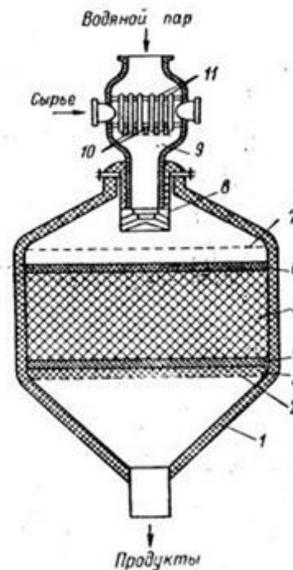
РЕАКТОРЫ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

- Реакторы с насадкой в виде гранулированного катализатора применяют в ряде каталитических жидкофазных процессов.
- Выполнены в виде колонн 1, весь объем катализатора в которых разделен на слои.
- Каждый слой 2 уложен на газораспределительную решетку с сеткой и сверху пружинами поджат другой сеткой.
- Пространства 3 между слоями служат для перераспределения газовой фазы и дополнительного ввода газа или сырья, если это необходимо для повышения эффективности аппарата или стабилизации температуры реакции.
- Отвод реакционной теплоты в таких аппаратах может осуществляться тремя способами: хладагентом, подаваемым в змеевики (рис. а), и предварительно охлажденным газом (рис. б) или жидкостью (рис. в), вводимыми в пространства между слоями катализатора.



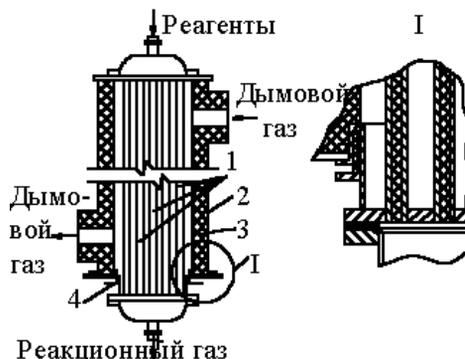
35

- **Реакторы шахтного типа** являются наиболее простыми из группы контактных реакторов
- Катализатор в этих аппаратах засыпан сплошным слоем
- Эти реакторы используют в случаях, если тепловой эффект реакции невелик или имеется возможность отвода количества выделяющейся теплоты



36

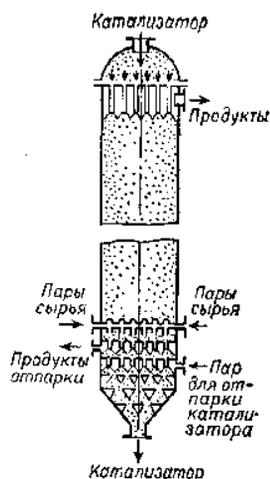
- **Реактор трубчатого типа**
- Конструктивно напоминает кожухотрубчатый теплообменник
- Катализатор находится в трубах, трубчатка расположена в топочной камере



37

РЕАКТОРЫ С ДВИЖУЩИМСЯ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

- В таких аппаратах катализатор непрерывно выводится из аппарата, регенерируется и вновь возвращается в зону реакции
- Реакция всё время идёт в присутствии практически свежего катализатора
- Движущийся поток обуславливает хорошее перемешивание реакционной смеси и контакт с частицами катализатора



38

РЕАКТОРЫ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

- Псевдоожигенный (“кипящий”) слой катализатора имеет некоторые свойства, аналогичные свойствам кипящей жидкости: текучесть, “вязкость”, способность принимать форму вмещающего его сосуда, всплески на поверхности, проскоки пузырей
- Для псевдоожигенного слоя используют зернистый (размер частиц от 4 до 0,1 мм) и пылевидный (размер частиц менее 0,1 до 0,01 мм) катализаторы
- Сырьё (реакционный газ) подаётся под газораспределительную решетку через штуцер 4. Вместе с этим сырьем в реактор непрерывно вводится свежий катализатор.
- Точно такое же количество катализатора выводится из реактора через штуцер 5 на регенерацию.

▪ <https://www.youtube.com/watch?v=37NUaHpX1IQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=jkN3LehkR0I>

