

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И РЕАКТОРЫ

Практически не отличаются от аналогичных некаталитических реакторов. Для гомогенного газофазного катализа применяются пустотелые камеры со смешением реагентов на входе (экзотермические реакции) или в кожухотрубном теплообменнике (эндотермические). В трубах, которых осуществляется катализ, а в межтрубном – горячий газ.

Реакторы гетерогенного катализа

Большинство таких реакторов – контактные аппараты с твёрдыми катализаторами для газофазного синтеза. По гидродинамическому режиму их делят на группы:

- ❖ С неподвижным (фильтрующим) слоем катализатора;
- ❖ Со взвешенным (кипящим) слоем катализатора;
- ❖ С непрерывно движущимся слоем катализатора по всей высоте реакционного объёма.

Реакторы поверхностного контакта с катализатором в виде сеток, через которые пропускается газ (не подходит под данную классификацию).

Такие аппараты применяются для быстрых экзотермических реакций, время соприкосновения реагента с катализатором от 0,0001 и 0,001 сек. Аппараты просты по устройству. Применяются для окисления аммиака. Сетки изготавливаются из Pt-Pd-Rh.

Каталитические контактные аппараты с фильтрующим слоем

Реакторы с фильтрующим слоем катализатора представлены на рисунке 23. Данные аппараты работают в режиме идеального вытеснения, так как в ходе процесса через катализатор пропускается газ. Все катализаторы, применяемые в

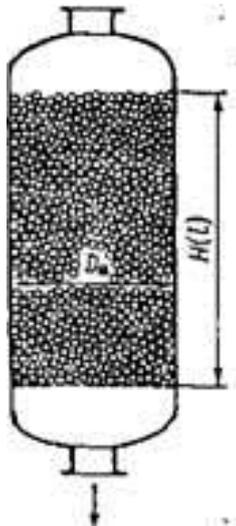


Рис. 23. Каталитический реактор (конвертор) шахтного типа с режимом работы, близким к идеальному вытеснению (при $H > D$)

данных аппаратах, должны обладать развитой поверхностью т.е. быть высокопористыми. Такие аппараты очень часто используются с теплообменниками, так как последние позволяют подводить тепло при проведении эндотермических реакций или же отводить тепло в случае экзотермических реакций. Простейший реактор такого типа, работающий в адиабатическом режиме (без теплообменников), представлен на рисунке 24 и рисунке 25.

Если для экзотермической реакции адиабатический коэффициент λ велик и $\lambda_2 > \lambda_1$, то выход уменьшается. График зависимости степени превращения

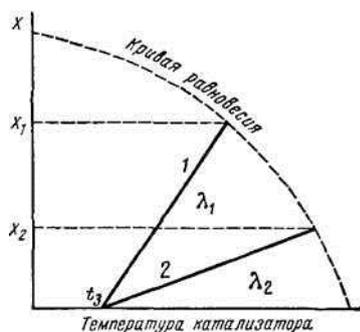


Рис. 24. Влияние адиабатического коэффициента λ на выход продукта для однослойного аппарата без теплообмена.

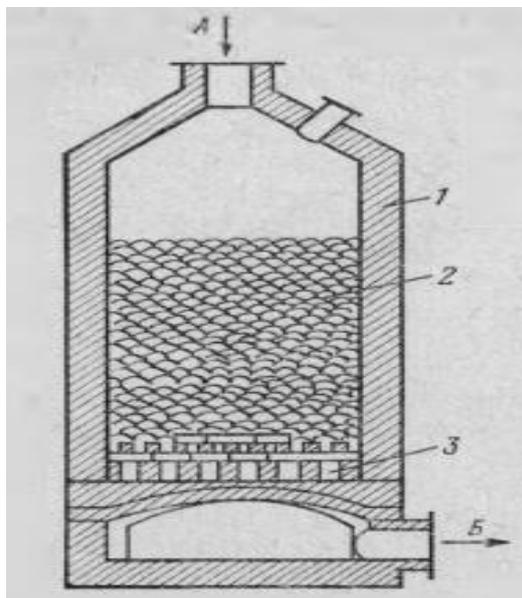


Рис. 25. Контактный аппарат без теплообмена для эндотермических и экзотермических процессов с небольшим тепловым эффектом.

1 – исходный корпус аппарата (футерованный); 2 – катализатор; 3 – колосниковая решётка; А – исходный газ; Б – продукт.

вещества от адиабатического коэффициента приведён на рисунке 24.

На рисунке 23 представлены более совершенные снабжённые теплообменниками аппараты с фильтрующим слоем катализатора. Свежий газ нагревается в теплообменниках за счёт теплоты горячих продуктов реакции и затем дополнительно подогревается в теплообменниках 4 и 5 до температуры начала реакции, затем газ последовательно проходит через слой катализатора в контактных аппаратах 1, 2, 3, и внутри теплообменников, охлаждаясь при этом. Происходящие изменения температуры и степени превращения показаны на рисунках 25 и 26. В каждом слое катализатора происходит адиабатический процесс. Возрастание температуры пропорционально повышению степени превращения, что показано прямыми 1 и 2. Охлаждение газов теплообменниками 4, 5, 6 изображается горизонтальными прямыми 4, 5, 6 соответственно. Чем

больше ступеней контактирования и промежуточного охлаждения, тем ближе режим к оптимальному, а выход продукта выше.

Каталитические полочные контактные аппараты

В химической промышленности широко распространены каталитические

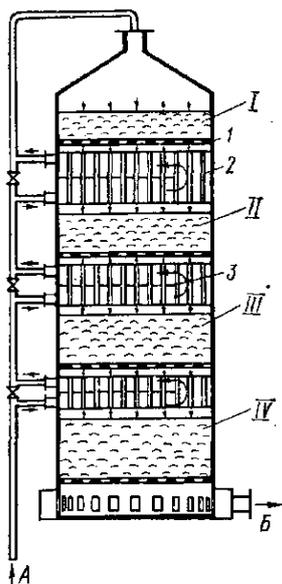


Рис. 26. Полочный контактный аппарат с теплообменниками между слоями:

1 – решётки; 2 – внутренний теплообменник; 3 – перегородка; I, II, III, IV – первый, второй, третий, четвёртый слой катализатора (по ходу газа); А – газ на теплообменника; Б – газ в теплообменник.

полочные контактные аппараты. Один из таких аппаратов представлен на рис. 26.

Между дырчатыми полками, на которых расположены слои катализатора размещены теплообменники. В межтрубном пространстве теплообменников последовательно проходит свежий газ, охлаждая продукты реакции и нагреваясь

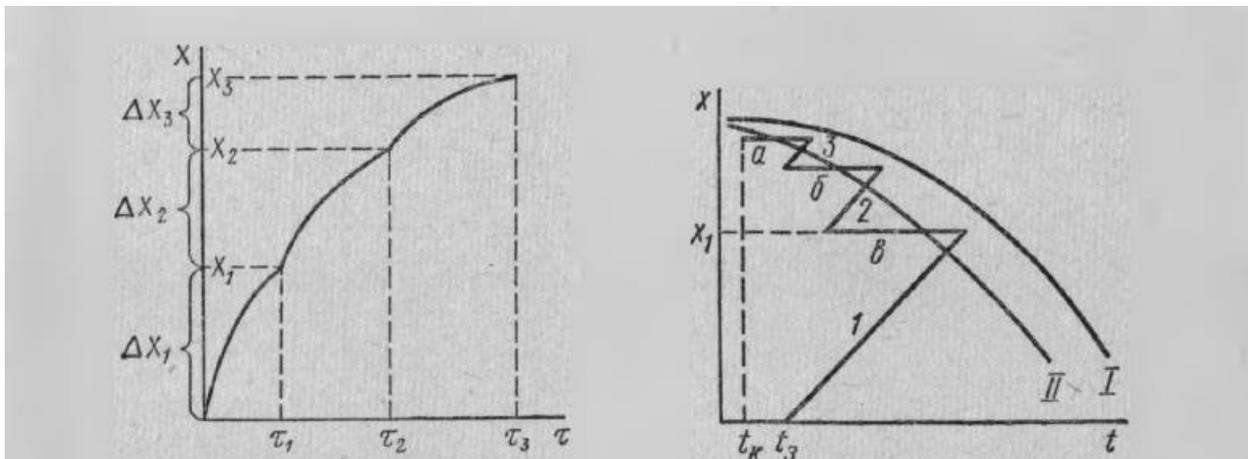


Рис. 27. Зависимость степени превращения от времени для трёхступенчатого контактирования: $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$ – степень превращения в контактных аппаратах 1, 2, 3 с внешними теплообменниками; x_1, x_2, x_3 – общий выход за время τ_1, τ_2, τ_3 .

Рис. 28. Зависимость степени превращения от температуры для трёхступенчатого процесса контактирования с охлаждением газа:

1 – равновесная кривая; II – оптимальная кривая; 1, 2, 3 – адиабаты превращения; а, б, в – линии охлаждения газа.

до температуры начала реакции. Процесс аналогичен рассмотренному ранее и его тоже можно описать графиком, представленном на Рисунке 103 и 104.

Трубчатые контактные аппараты

Процессы, протекающие в трубчатых контактных аппаратах относятся к непрерывным процессам. Катализатор может находиться как в трубах, так и в межтрубном пространстве. Газ, входящий в аппарат для осуществления экзотермического процесса направляется сначала во внутренние трубы, затем идёт по кольцевому пространству между внутренними и внешними

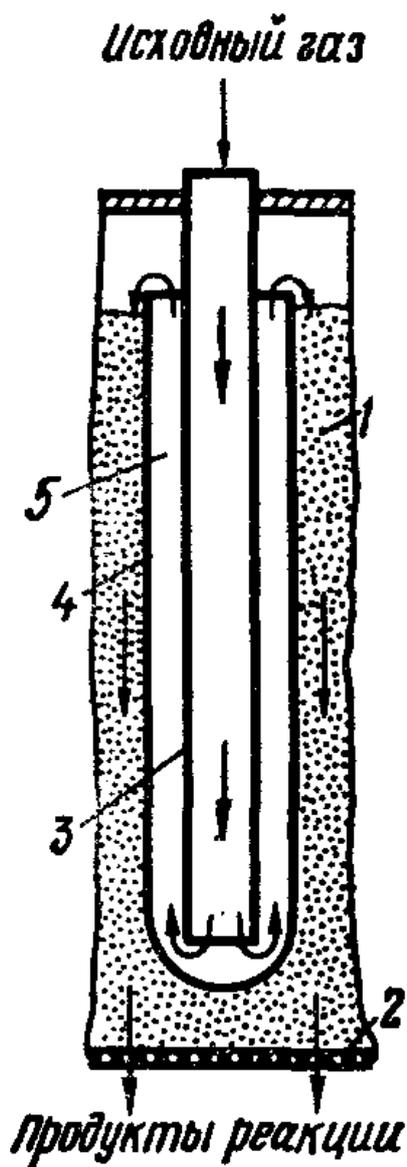


Рис. 28. Двойная теплообменная трубка:
1 – катализатор; 2 – дырчатая полка (решётка); 3 – внутренняя теплообменная трубка; 4 – внешняя теплообменная трубка; 5 – внутреннее пространство трубы.

теплообменными трубами. В результате газ нагревается до температуры начала реакции, охлаждая контактную массу, и затем входит в слой катализатора.

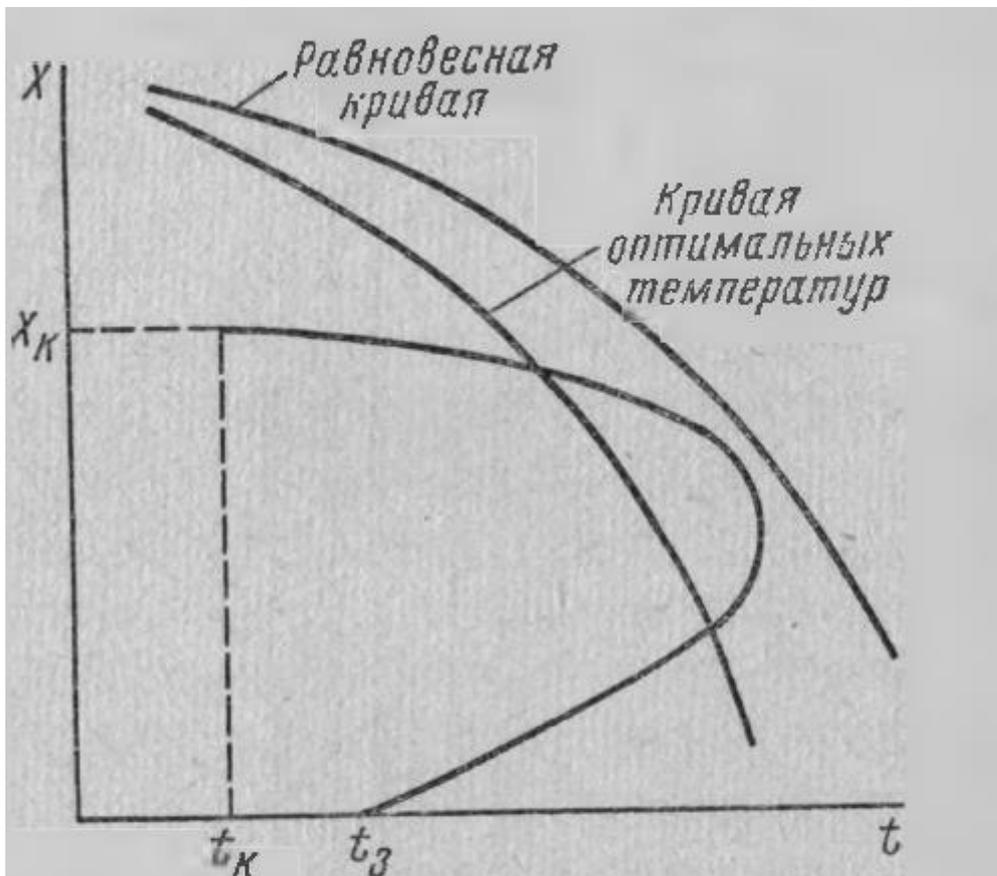


Рис. 29. Диаграмма изменения выхода продукта экзотермической реакции и температуры для трубчатого контактного аппарата с катализатором в трубках. Характер изменения степени превращения представлен на рисунке 29.

Аппараты со взвешенным слоем катализатора

Газ проходит через контактную массу образует взвешенный слой. Из-за повышенного движения зёрен катализатора. Теплопроводность велика, поэтому реактор изотермичен. Константа скорости процесса в таких реакторах выше, движущая сила меньше. Катализатор должен иметь повышенную износоустойчивость.

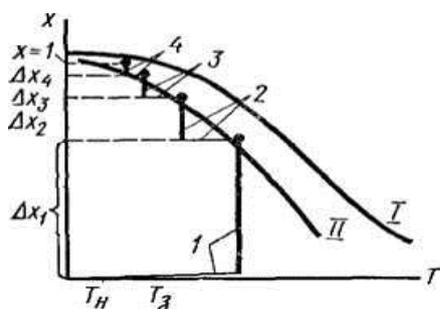


Рис. 30. Изменение степени превращения и температуры в контактном аппарате с четырьмя кипящими слоями катализатора (по рис 114).

I — равновесная кривая; II — оптимальная кривая; 1, 2, 3, 4 — изотермы в слоях катализатора.

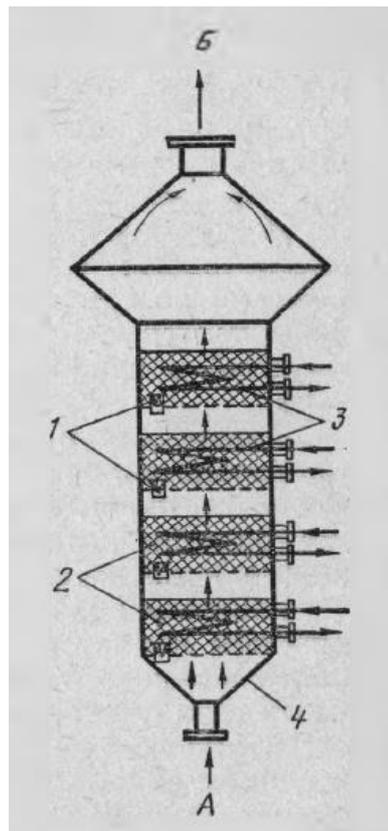


Рис. 31. Многослойный контактный аппарат с кипящими слоями катализатора:
1 — пылеуловитель; 2 — взвешенный слой катализатора; 3 — газораспределительная решётка; 4 — корпус аппарата; 5 — водяные холодильники (теплообменники).

Реакторы с непрерывно движущимся катализатором

Катализатор в таком реакторе пылевидный, выносится из реактора потоком газа, далее отделяется от газа, идёт на регенерацию и вновь возвращается в реактор.