

Вопросы к экзамену по курсу общей химической технологии (А.Н.Загоруйко)

Каждый билет будет содержать один вопрос по процессам и аппаратам химической технологии, один вопрос по общей химической технологии, один вопрос по моделированию химических реакторов и задачу.

Вопросы по процессам и аппаратам химической технологии:

1. Ректификация. Назначение. Принцип действия. Классификация процессов ректификации и типов ректификационных колонн. Методы расчета и оптимизации ректификационных колонн.
2. Схемы ректификации многокомпонентных смесей. Количество колонн в схемах разделения сложных многокомпонентных смесей. Разделение азеотропных смесей.
3. Абсорбция. Назначение и области применения. Принцип действия. Классификация процессов абсорбции и типов абсорбционных колонн. Технологические схемы процессов абсорбции и конструкции промышленных абсорберов.
4. Экстракция. Назначение и области применения. Принцип действия. Технологические схемы процессов экстракции и конструкции промышленных экстракторов.
5. Адсорбция. Назначение и области применения. Принцип действия. Технологические схемы процессов адсорбции и конструкции промышленных адсорберов. Различные способы регенерации адсорбентов.
6. Теплообменные процессы. Назначение и области применения. Типы теплообменных процессов, конструкции промышленных рекуперативных и регенеративных теплообменников. Типичные значения коэффициентов теплообмена. Методы расчета теплообменников.
7. Насосы и компрессоры. Трубопроводный транспорт. Гидравлическое сопротивление трубопроводов. Методы расчета насосов и компрессоров.
8. Классификация химических и каталитических реакторов. Реактора с неподвижными, кипящими и движущимися слоями катализатора. Основные типы гранулированных и структурированных катализаторов.

Вопросы по общей химической технологии:

1. Синтез аммиака. Химизм процесса. Сырье для промышленного производства аммиака. Основные технологические стадии процесса синтеза аммиака. Оптимальное давление на различных стадиях процесса.
2. Основные технологические варианты получения водорода из природного газа. Их достоинства и недостатки. Выбор оптимального технологического варианта конверсии природного газа.
3. Паровая конверсия природного газа. Первичная и вторичная конверсия: условия осуществления, катализаторы.
4. Паровая конверсия CO. Средне- и низко-температурная конверсия: условия осуществления, катализаторы, конструкции аппаратов. Удаление CO₂, метанирование оксидов углерода.
5. Синтез и выделение аммиака: условия осуществления, катализаторы, конструкции аппаратов.
6. Производство элементарной серы. Сырье для производства серы, основные сферы использования. Обессеривание природного газа и нефти. Основные реакционные пути утилизации сероводорода.
7. Процесс Клауса. Химизм, технологическая схема процесса, условия осуществления. Катализаторы процесса Клауса. Процессы доочистки отходящих газов процесса Клауса: достоинства и недостатки.

8. Производство серной кислоты. Сырье для производства, сферы потребления. Основные стадии процесса производства серной кислоты. Технология каталитического окисления диоксида серы: условия осуществления, катализаторы. Способы управления тепловыми режимами в реакторах. Процессы одинарного и двойного контактирования.

Вопросы по моделированию:

1. Принципы масштабирования каталитических реакторов, межмасштабный перенос информации при разработке реакторов.
2. Виды математических моделей химических реакторов. Упрощенные модели – виды и области применимости. Эмпирические и содержательные модели. Стратифицированные содержательные модели.
3. Построение математической модели химического реактора в части материального баланса. Возможные упрощения модели. Идеализированные типы описания реакторов: идеальное смешение, идеальное вытеснение, статический реактор.
4. Построение математической модели химического реактора в части энергетического баланса. Возможные упрощения модели.
5. Кинетика каталитических реакций. Основные типы кинетических моделей. Основные принципы проведения кинетических экспериментов. Типы лабораторных реакторов для кинетических экспериментов. Обработка экспериментальных данных, принципы построения и выбора оптимальных кинетических моделей.
6. Перенос массы и энергии внутри гранул катализатора. Построение модели гранулы катализатора. Наблюдаемая скорость реакции во внутридиффузионной области. Степень использования внутренней поверхности гранулы катализатора, методы ее расчета. Модуль Тиле. Энергия активации реакции во внутридиффузионном режиме.
7. Внешний перенос тепла и массы. Коэффициенты тепло- и массообмена. Критериальные уравнения для их расчета. Зависимость значений коэффициентов внешнего обмена от значений параметров процесса (размер прохода, скорости потока и пр.). Энергия активации реакции во внешнедиффузионном режиме.

Для решения задачи надо будет хорошо ориентироваться в элементарных основах расчета реакторов. Как минимум, надо будет твердо знать уравнения расчета конверсии для реакции первого порядка в реакторах идеального смешения и вытеснения. Чтобы было понятно, чего ожидать, прилагаю пример задачи подобного рода с решением (на следующей странице).

Для решения задачи советую принести на экзамен калькуляторы.

Всем удачной подготовки!

ЗАДАЧА

В реактор дожига токсичных органических примесей, в который загружено 2.5 м^3 катализатора, поступает для очистки 18000 м^3 (при нормальных условиях) отходящих газов в час. При температуре отходящих газов на входе в реактор 250°C степень превращения примесей составляет 55%, после повышения этой температуры до 300°C степень превращения увеличивается до 85%. Известно, что реакция дожига в условиях процесса протекает в кинетической области, причем кинетика реакции описывается уравнением первого порядка по окисляемым примесям, а режим работы реактора близок к идеальному вытеснению. В связи с низким исходным содержанием примесей в очищаемых газах адиабатический разогрев реакции глубокого окисления примесей незначителен, так что реакционный объем может считаться изотермичным.

Для повышения эффективности очистки на производстве планируется повысить температуру газов на входе в реактор до 325°C , а также увеличить загрузку катализатора до 3.5 м^3 . Какая степень очистки газов будет достигнута после реализации этих мер?

РЕШЕНИЕ

Для начала найдем кинетические параметры реакции. Для реакции первого порядка, не осложненной диффузионными торможениями, в изотермическом реакторе идеального вытеснения значения кинетических констант вычисляются по уравнению $k = -\frac{\ln(1-x)}{\tau}$, где x – степень превращения, τ – время контакта.

Время контакта рассчитывается по уравнению $\tau = V/Q$, где V – объем слоя катализатора, Q – расход очищаемых газов:

$$Q = 18000 \text{ м}^3/\text{час} = 5 \text{ м}^3/\text{сек} \quad V = 2.5 \text{ м}^3 \quad \tau = 2.5 / 5 = 0.5 \text{ сек}$$

Соответственно для температур 250 и 300°C (523 и 573 К соответственно) получаем следующие значения кинетических констант:

$$k_{523} = -\frac{\ln(1-0.55)}{0.5} = 1.597 \text{ сек}^{-1} \quad k_{573} = -\frac{\ln(1-0.85)}{0.5} = 3.794 \text{ сек}^{-1}$$

Энергия активации находится из соотношения:

$$E/R = -\frac{\ln\left(\frac{k_{523}}{k_{573}}\right)}{\frac{1}{523} - \frac{1}{573}} = 5186.5 \text{ К}^{-1}$$

Далее получаем значение предэкспоненты

$$k_0 = \frac{k_{523}}{\exp\left(-\frac{E/R}{523}\right)} = 3.24 \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}$$

Теперь рассчитываем значение константы для температуры 325°C :

$$k_{325} = 3.24 \cdot 10^4 \exp\left(-\frac{5186.5}{325 + 273}\right) = 5.539 \text{ сек}^{-1}$$

При увеличении загрузки катализатора до 3.5 м^3 время контакта вырастет до

$$3.5 (\text{м}^3) / 5 (\text{м}^3/\text{сек}) = 0.7 \text{ сек}$$

В итоге для этих значений получаем значение прогнозируемой степени превращения

$$x = 1 - \exp(-k\tau) = 1 - \exp(-5.539 * 0.7) = 0.979$$

Ответ: 97.9%