

РЕАКТОРЫ ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ И ВЫТЕСНЕНИЯ

Задания к лабораторным работам

1. Изотермический процесс в реакторе (простая необратимая реакция)

Задание I-1

Необратимая реакция $A + B \rightarrow R + S$ протекает в реакторе идеального вытеснения. Константа скорости реакции при 298К составляет 4,8 л/(моль·мин). Растворы реагентов А и В (потoki V_{0A} и V_{0B} соответственно) подаются в реактор раздельно. Концентрация исходных веществ в потоках одинакова и равна 0,1 моль/л.

Объем реактора 200 см³.

Определить влияние объемного расхода реакционной смеси V_0 на степень превращения исходных реагентов. Принять значения V_0 (л/час) = 2; 4; 6; 8; 10; соотношение потоков с реагентами А и В $\lambda = V_{0A}/V_{0B} = 1$.

Определить влияние соотношения λ потоков растворов А и В на степень превращения исходных реагентов. Принять значения $\lambda = 5:1; 3:1; 1:1; 1:3; 1:5$. Объемный расход реакционной смеси $V_0 = 6$ л/час..

Результаты представить в графическом виде и объяснить полученные зависимости.

Задание I-2

Необратимая реакция $A + B \rightarrow R + S$ протекает в реакторе идеального вытеснения. Константа скорости реакции при 298К составляет 4,8 л/(моль·мин). Растворы реагентов А и В (потoki V_{0A} и V_{0B} соответственно) подаются в реактор раздельно. Концентрация исходных веществ в потоках одинакова и равна 0,1 моль/л.

Степени превращения реагента А в реакторе $x_A = 80\%$.

Определить влияние объемного расхода реакционной смеси V_0 на объем реактора. Принять значения V_0 (л/час) = 2; 4; 6; 8; 10, соотношение потоков с реагентами А и В $\lambda = V_{0A}/V_{0B} = 1$.

Определить влияние соотношения λ потоков растворов А и В на степень превращения исходных реагентов. Принять значения $\lambda = 5:1; 3:1; 1:1; 1:3; 1:5$, Объемный расход реакционной смеси $V_0 = 6$ л/час.

Результаты представить в графическом виде и объяснить полученные зависимости.

Задание I-3

В реакторе протекает необратимая реакция $A + B \rightarrow R + S$. Константа скорости реакции при 298К составляет 4,8 л/(моль·мин). Растворы реагентов А и В подаются в реактор раздельно в соотношении $V_{0A}/V_{0B} = \lambda$. Концентрация исходных веществ в потоках одинакова и равна 0,1 моль/л.

Объем реакционной зоны в реакторе 0,3 л.

В реакторе может быть организован режим идеального вытеснения (РИВ), идеального смешения (РИС) или каскада из n одинаковых РИС ($n = 2, 3, 4, 5$).

Условия процесса:

а) Объемный расход реакционной смеси V_0 [л/ч] = 3, 5, 7; $\lambda = 1:1$.

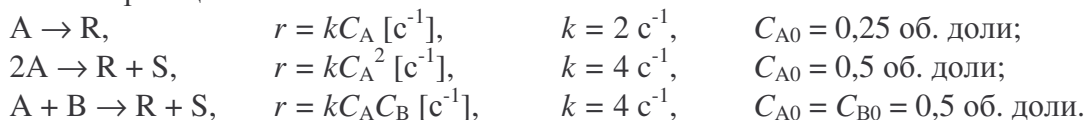
б) Соотношение потоков А и В, $\lambda = 2:1, 1:1, 1:2, 1:5$; $V_0 = 5$ л/ч.

Провести сравнение значений степени превращения исходных реагентов, достигаемых при проведении процесса в реакторах в заданных условиях процесса.

Результаты представить в графическом виде и объяснить полученные зависимости.

Задание I-4

В лабораторном трубчатом реакторе (идеального вытеснения) была проведена серия экспериментов с реакциями:



Здесь же приведены кинетические уравнения и их параметры, начальные концентрации. Диаметр трубчатого реактора 20 мм, длина – 320 мм. Расход реакционной смеси 7,5 л/мин.

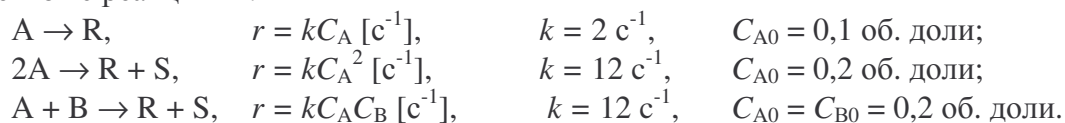
Рассчитайте изменение степени превращения x_A компонента А в реакторе и постройте график зависимости изменения x_A по длине реактора l для всех реакций.

Во второй серии экспериментов все концентрации были уменьшены в два раза.

Как изменится профиль $x_A(l)$ и конечная степень превращения А для каждой из реакций? Объясните полученный результат.

Задание I-5

В лабораторном проточном реакторе с мешалкой (идеального смешения) была проведена серия экспериментов с реакциями:



Здесь же приведены кинетические уравнения и их параметры, начальные концентрации. Объем реактора 200 см³. Расход реакционной смеси 7,5 л/мин.

Определите степень превращения x_A компонента А в реакторе и на выходе из реактора для всех реакций.

Во второй серии экспериментов все концентрации были увеличены в два раза.

Как изменится степень превращения А x_A для каждой из реакций? Объясните полученный результат.

Задание I-6

В лабораторной установке с трубчатым реактором провели испытания двух образцов катализатора. Оба катализатора при времени контакта $\tau = 2$ с и концентрации исходного вещества $C_0 = 10$ об.% показали одинаковую степень превращения исходного компонента А $x_A = 60$ %. Вследствие различия механизмов реакции на разных катализаторах скорость превращения на первом образце описывается уравнением $r = kC$, а на другом - $r = kC^{0.5}$. Определите константы скорости реакции.

На этих же образцах катализатора при том же значении τ провели измерение степени превращения А x_A , увеличив C_0 в два раза. Какова будет степень превращения в реакторе? Объясните полученный результат.

II. Изотермический процесс в реакторе (простая обратимая реакция)

Задание II-1

Обратимая реакция $A + B \rightleftharpoons R$ проводится в реакторе идеального вытеснения. Константы скорости при 473 К прямой реакции $k_1 = 3,2 \text{ м}^3/(\text{моль} \cdot \text{мин})$, обратной – $k_2 = 0,457 \text{ мин}^{-1}$. Энергия активации $E_1 = 80 \text{ кДж}/(\text{моль} \cdot \text{град})$, тепловой эффект реакции $Q_p = 179,5 \text{ кДж/моль}$

Начальные концентрации исходных реагентов равны $C_{A0} = C_{B0} = 5 \text{ об.}\%$, продукт в исходной смеси отсутствует. Объемный расход реакционной смеси $V_0 = 0,2 \text{ л/сек}$.

Определить объемы реакторов для получения степеней превращения $x_A = 50\%$ и $x_A = 75\%$. Постройте графики $x_A(\tau)$ для каждого реактора.

Температуру в каждом реакторе увеличили на 10 град. Как изменятся степени превращения и зависимости $x_A(\tau)$ в рассчитанных реакторах?. Объясните полученный результат.

Задание II-2

В реакторе идеального вытеснения протекает обратимая реакция $A + B \rightleftharpoons R + S + 40 \text{ кДж}$. При температуре 500 К константа равновесия $K_p = 9,5$, константа скорости прямой реакции $k = 10 \text{ с}^{-1}$, энергия активации $E = 60 \text{ кДж/моль}$.

В реактор объемом 700 см^3 подается 6 л/мин реакционной смеси, содержащей по 10 об.% веществ А и В. Режим процесса – изотермический, температура – 500 К.

Рассчитайте и постройте график зависимости степени превращения А x от времени реакции τ .

Как изменится зависимость $x(\tau)$, если температуру увеличить на 30 град? уменьшить на 20 град? Покажите эти изменения графически и объясните.

Задание II-3

В реакторе идеального смешения (РИС) протекает обратимая реакция $A + B \rightleftharpoons R + S + 135 \text{ кДж}$. Константа скорости прямой реакции $k = 25 \text{ с}^{-1}$ при температуре 500 К, энергия активации $E = 90 \text{ кДж/моль}$, константа равновесия $K_p = 10,5$.

В реактор объемом 550 см^3 подается 6 л/мин смеси компонентов А и В, содержащей по 20 об.% веществ А и В. Температура процесса в реакторе 500 К.

Рассчитайте и постройте в координатах « τ – x » распределение степени превращения А x по объему реактора.

Как изменится зависимость $x(\tau)$, если температуру увеличить на 20 град? уменьшить на 20 град? Покажите эти изменения графически и объясните.

III. Изотермический процесс в реакторе (сложная реакция)

Задание III-1

Дана реакция $A \rightarrow R \rightarrow S$, Частные реакции первого порядка. Их константы скорости при температуре 300 К равны $k_1 = 0,03 \text{ с}^{-1}$, $k_2 = 0,02 \text{ с}^{-1}$.

Реакция проводится при температуре 27⁰С в проточном реакторе идеального смешения и в реакторе идеального вытеснения, имеющих равные объемы 0,65 м³. Начальная концентрация $C_{A0} = 0,02 \text{ кмоль/м}^3$. Продукты в исходной смеси отсутствуют.

Определить:

- часовую нагрузку V_0 на каждый реактор, чтобы: получить максимальный выход по продукту R;
- максимально возможную концентрацию продукта R;
- соотношение максимальных выходов продукта R в каждом реакторе.

Объяснить полученные результаты.

Задание III-2

Реакция $A \rightarrow R \rightarrow S$, константы скорости которой при температуре 300 К равны $k_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, $k_2 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, проводится в реактора идеального вытеснения при скорости подачи реакционной смеси $V_0 = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, температуре 27⁰С и начальной концентрации $C_{A0} = 0,0077 \text{ моль/л}$.

Определить максимальный выход продукта R, выходные концентрации всех веществ и необходимый объем реактора.

Провести сравнительный расчет для проточного реактора идеального смешения того же объема. Объяснить полученные результаты.

Задание III-3

В проточном реакторе идеального смешения протекают при температуре 298 К параллельные реакции $A \rightarrow R$, $A \rightarrow S$, где R – целевой продукт. Константа скорости основной реакции первого порядка $k_1 = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Кинетическое уравнение реакции образования побочных продуктов $r_A = 1,1 \cdot 10^{-3} C_A^{1,2} \text{ кмоль/м}^3 \cdot \text{с}$

Объем реактора 0,9 м³. Исходная смеси содержит 1 кмоль вещества A в 1 м³ и подается со скоростью 0,002 м³/с.

Определить степень превращения вещества A, выход и селективность по продукту R. Объяснить их изменения по длине реактора.

Сравнить полученные данные с процессом в реакторе идеального вытеснения такого же объема. Объяснить полученные результаты сравнения показателей процесса..

Задание III-5

Дана реакция $A \rightarrow R$, $2A \rightarrow S$, протекающая без изменения объема. Константы скорости по веществу A равны $k_1 = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, $k_2 = 0,01 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{с})$. Начальная концентрация исходного вещества 1,2 кмоль/м³.

Сравнить селективность и выход по продукту R в реакторе идеального вытеснения и в проточном реакторе идеального смешения при степени превращения вещества A равной 0,75. Объяснить полученные результаты (влияние типа реактора на показатели процесса и их изменение по объему реакторов).

IV. Неизотермический процесс в реакторе

Задание IV-1

В реакторе протекает необратимая реакция $A + B \rightarrow R + S$. Константа скорости реакции при температуре 200°C $k = 5 \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{мин})$, энергия активации $E = 15500 \text{ кал}/\text{моль}$

Компоненты А и В подаются в реактор отдельными потоками. с концентрацией, соответственно, $C_{A0} = 0,2 \text{ моль}/\text{л}$, $C_{B0} = 0,2 \text{ моль}/\text{л}$. Соотношение потоков $V_{0A}/V_{0B} = 1:1$.

Степени превращения в реакторе $x_A = 0,5; 0,7; 0,9$.

Реакция проводится в режимах:

- адиабатическом при начальной температуре 200°C (адиабатический разогрев данной реакционной смеси $\Delta T_{\text{ад}} = 150 \text{ град}$),
- изотермическом при температуре, равной температуре на выходе из адиабатического реактора.

Результаты представить на графике " τ – x , T ", сопоставить режимы по интенсивности процессов и объяснить полученные зависимости.

Задание IV-2

В реакторе идеального вытеснения объемом $1,2 \text{ м}^3$ при адиабатических условиях протекает эндотермическая реакция $A + B \rightarrow R$. Константа скорости реакции $k = 5 \cdot 10^{11} \exp(-81438/RT) \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{с})$. Тепловой эффект реакции $\Delta H = 1,65 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кмоль А}$. Теплоемкость реакционной смеси $c_p = 2,8 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$, плотность $\rho = 1290 \text{ кг}/\text{м}^3$. Начальные концентрации $C_{A0} = 10,2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$, $C_{B0} = 12,8 \text{ кмоль}/\text{м}^3$. Температура смеси на входе $T = 55^{\circ}\text{C}$. Скорость подачи исходных веществ $24 \text{ м}^3/\text{с}$.

Определить производительность по продукту.

Задание IV-3

В реакторе идеального вытеснения в адиабатических условиях протекает жидкофазная реакция первого порядка $A \rightarrow 2R$. Константа скорости реакции $k = 5 \cdot 10^{11} \exp(-99720/RT) \text{ с}^{-1}$. Тепловой эффект реакции $Q_p = 2 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кмоль А}$. Начальная концентрация $C_{A0} = 4,2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$. Концентрация продукта $C_R = 2,05 \text{ кмоль}/\text{м}^3$. Теплоемкость реакционной смеси $c_p = 2,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$, плотность $\rho = 850 \text{ кг}/\text{м}^3$. Температура смеси на входе 318 К . Скорость подачи исходных веществ $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

Определить необходимый объем реактора.

Задание IV-4

В реакторе идеального вытеснения протекает обратимая реакция $A \rightleftharpoons R$. Тепловой эффект реакции $\Delta H_{283}^0 = -58300 \text{ кДж}/(\text{кмоль А})$, константа скорости прямой реакции $k = 2,72 \cdot 10^6 \exp(-45800/RT) \text{ с}^{-1}$. Для реакции заданы: константа равновесия $K_p = 17,2$; начальная концентрация А $C_{A0} = 1,8 \text{ кмоль}/\text{м}^3$; молярная теплоемкость смеси $c_p = 74 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{град})$. Смесь поступает в реактор при температуре 10°C . Объем реактора $0,1 \text{ м}^3$. Время пребывания 10 с . Площадь поверхности теплообмена $0,55 \text{ м}^2$. Теплота отводится за счет воды с температурой 5°C . Коэффициент теплопередачи принять равным $480 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$.

Определить степень превращения и профиль температур в реакторе.

Задание IV-5

В реакторе идеального смешения протекает необратимая реакция $A = R$. При температуре 400 К константа скорости реакции $k = 7 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$. Энергия активации $E = 80 \text{ кДж}/\text{моль}$. Величина адиабатического разогрева $\Delta T_{\text{ад}} = 200 \text{ град}$. Условное время реакции в реакторе

Определить степень превращения и температуру в реакторе при температуре реакционной смеси на входе 410 К .

Как изменится степень превращения, если температуру на входе уменьшить на 30 градусов ? увеличить на 30 градусов ?

Объяснить все полученные результаты.

V. Выбор и расчет реактора

Задание V-1

В реакторе протекает необратимая реакция $A + B \rightarrow R + S$. Исходные растворы, содержащие реагент В с концентрацией $0,5 \text{ кмоль/м}^3$ и реагент А с концентрацией $0,3 \text{ кмоль/м}^3$, поступают в реактор отдельными потоками в объемном отношении $V_{0B} : V_{0A} = 2 : 1$. Режим процесса – изотермический с температурой 298 К , объем реактора $0,5 \text{ м}^3$, необходимая степень превращения реагента А составляет 98% .

Определить распределение концентраций, степеней превращения по длине реактора идеального вытеснения, рассчитать производительность реактора по исходным реагентам. Провести те же расчеты для проточного реактора идеального смешения. Сравнить полученные результаты.

Дополнение: Константу скорости реакции следует определить из данных, полученных при проведении реакции в периодическом реакторе идеального смешения: после 10 мин от начала реакции степень превращения реагента А составила 38% .

Задание V-2

Для газофазной реакции $A \rightarrow 3B$ при 700 К с константой скорости равной $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ найти степень превращения вещества А за время, равное 5000 с , для: 1) реактора идеального вытеснения; 2) проточного реактора идеального смешения; 3) реактора идеального смешения периодического действия.

Определить объемы указанных реакторов и расход сырья $[\text{м}^3/\text{сут}]$ для обеспечения производства $67,5 \text{ моль R}$ в час (в реакторе идеального смешения периодического действия время на подготовку реактора занимает 15% от времени рабочего цикла).

Задание V-3

Скорость превращения аммиака в реакции разложения фосфина $4\text{PH}_3 \rightarrow \text{P}_4 + 6\text{H}_2$ описывается уравнением $w_{\text{PH}_3} = -2,78 \cdot 10^{-3} C_{\text{PH}_3} \text{ кмоль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$. Реакция протекает при температуре 649 К в реактора идеального вытеснения до степени превращения $x_{\text{PH}_3} = 0,85$. Концентрация исходного вещества $0,04 \text{ кмоль/м}^3$.

Какой объем должен иметь реактор при производительности по фосфину $3,08 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль/с}$?

Задание V-4

Окисление оксида азота до диоксида: $\text{NO} + 0,5\text{O}_2 = \text{NO}_2$ – стадия в производстве азотной кислоты, – газофазная реакция, скорость которой описывается кинетическим уравнением $r = k C_{\text{NO}}^2 C_{\text{O}_2}$. Константа скорости реакции $k = 4500 \text{ м}^6/(\text{кмоль}^2 \cdot \text{с})$, энергия активации $E = -4,7 \text{ кДж}/(\text{моль} \cdot \text{град})$ (особенность этой реакции – скорость уменьшается с температурой).

Оксид азота образуется окислением аммиака кислородом воздуха. Аммиачно-воздушная смесь содержит 10% NH_3 . Полагаем, что весь аммиак окисляется до NO и объем реакционной смеси не меняется. После окисления аммиака и охлаждения газ поступает в окислитель NO , где реакция протекает адиабатически.

Определите температурный режим окисления, объем и габариты окислителя для следующих условий: объемный расход газа – $60 \text{ тыс. м}^3/\text{час}$, температура перед окислителем 370 К , диаметр окислителя – 2500 мм . Другие данные: тепловой эффект указанной реакции $Q_p = 56,5 \text{ кДж}$, теплоемкость газа $1,44 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$

Как изменится объем окислителя, если в него встроить холодильник, чтобы окисление протекало в изотермическом режиме при $T = 390 \text{ К}$?

Задание V-5

Гомогенное дегидрохлорирование дихлорэтана с получением винилхлорида $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2 = \text{C}_2\text{H}_3\text{Cl} + \text{HCl}$, осуществляют в реакторе–трубе, помещенной внутрь топки и обогреваемой продуктами горения мазута. Диаметр трубки 150 мм. Температура повышается по ходу протекания процесса, так что можно рассматривать процесс протекающим адиабатически с величиной адиабатического разогрева 250 град. Степень превращения дихлорэтана $x = 45\%$. Скорость реакции описывается уравнением $r = kC_{\text{ДХЭ}}$ (при $x < 0,5$ обратной реакцией можно пренебречь), $k = 0,03 \text{ с}^{-1}$ при 700 К, энергия активации $E = 27,5 \text{ ккал/моль}\cdot\text{град}$.

Определить длину трубки реактора для производства винилхлорида мощностью 10 тыс. т/год, температура потока на входе в реактор 673 К.

Покажите графически изменение x , концентрации винилхлорида и температуры по длине трубки.

Как изменится длина трубки реактора, если процесс провести изотермически при $T = 750 \text{ К}$?