

ОКИСЛЕНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ (процессы и реакторы)

Задания лабораторных работ

I. Физико-химические закономерности окисления диоксида серы

Задание № I-1

Рассчитайте и постройте зависимость от температуры равновесной степени окисления $x_{\text{равн}}$ диоксида серы в интервале температур 400–600⁰С при давлении 1 ат.

1) Исходная смесь содержит 8 об.% SO₂ и получена

- при сжигании серы в воздухе;
- при обжиге колчедана в воздухе;
- смешением SO₂ с воздухом.

2) Исходная смесь содержит SO₂ [об.%] – 7; 8; 9; 10 и получена при сжигании серы в воздухе:

Объясните влияние на $x_{\text{равн}}$ исходного сырья и содержания SO₂ в исходном газе.

Задание № I-2

Рассчитайте и постройте зависимость от температуры равновесной степени окисления диоксида серы. Давление: 1 ат; 10 ат. Интервал температур 400–600⁰С. Исходная смесь содержит 10 % SO₂ и получена

- а) при сжигании серы в воздухе;
- б) при обжиге колчедана в воздухе.

Полагая, что на выходе из реактора температура прореагировавшей смеси 420⁰С и достигается равновесие, определите как и на сколько изменится остаточное содержание SO₂ при увеличении давления процесса с 1 ат до 10 ат. Объясните полученный результат.

Рассчитайте для обоих случаев суточное количество серной кислоты, образующейся из выбрасываемого SO₂ в атмосферу, при мощности производства 360 т. тонн в год.

Задание № I-3

Рассчитайте и постройте зависимость от температуры скорости r окисления диоксида серы при давлении 1 ат и степенях превращения диоксида серы x [%]: 50; 60; 70; 80; 90; 95; 97. Интервал температур 660 – 890 К. Варианты условий процесса:

	Варианты	<i>1</i>	<i>2</i>
Получение исходного газа	<i>A</i>	Сжигание серы в воздухе	Обжиг колчедана в воздухе
Концентрация SO ₂ , об. %	<i>B</i>	8	10
Катализатор	<i>B</i>	ИК–4	СВД

Объясните полученные зависимости.

Рассчитайте и постройте в координатах « T – x » зависимость $x_{\text{равн}}(T)$ и линию оптимальных температур. Нанесите значения температур максимальных значений скорости реакции, полученных в первой части задания.

Задание № I-4

В лабораторной установке проведено измерение активности образца катализатора ИК–4 при температуре 480⁰С. В установке реализован режим ИВ. Загружено 10 мл катализатора. Реакционная смесь получена смешением SO₂ с воздухом и содержит 8 об.% SO₂. Объемная скорость реакционной смеси 600 мл/мин. Получена степень превращения $x = 83$ %.

Рассчитайте активность катализатора – константу скорости реакции.

На другой установке реализован режим ИС. Какова будет степень окисления SO₂ на том же образце катализатора при таких же условиях измерения, как в установке ИВ? Как надо изменить объемную скорость реакционной смеси в установке ИС, чтобы степень превращения была 83 %?

II. Окисления диоксида серы в слое катализатора

Задание № II-1

В лабораторной установке проведено измерение степени превращения на катализаторе а) СВД б) ИК-4. В установке реализован изотермический режим идеального вытеснения. Реакционная смесь содержит 7 об.% SO_2 и 11,5 об.% O_2 . Время контакта τ составило 0,5 с.

Как изменяется степень превращения x_k от температуры процесса (интервал температур 720–870 К)?

Для заданного состава реакционной смеси рассчитайте и постройте в координатах « $T-x$ » зависимость $x_{\text{равн}}(T)$ и линию оптимальных температур. Нанесите полученные значения x_k и отметьте, при какой температуре достигнуто максимальное превращение.

Задание № II-2

Окисление диоксида серы проводится в неподвижном слое катализатора в адиабатическом режиме. Температура на входе в слой: а) 440⁰С; б) 420⁰С. Температура в слое не должна превышать 600⁰С.

Определите максимальную концентрацию SO_2 в исходном газе, полученном 1) обжигом железного колчедана; 2) сжиганием серы.

Задание № II-3

Окисление SO_2 проводится в неподвижном слое катализатора ИК-4 в адиабатическом режиме. Исходное сырье получено сжиганием серы в воздухе. Концентрация SO_2 в исходной смеси 7; 8; 9; 10 об.%. Температура реакционной смеси на входе в реактор T_n : 410, 420, 430, 440⁰С.

Установите, как влияет на выходные показатели (температуру и степень превращения) процесса а) начальная температура, б) концентрация SO_2 . Полученные результаты изобразить на графике в координатах « $T-x$ ».

Какова должна быть T_n для каждой концентрации SO_2 , чтобы температура на выходе из слоя не превышала 600⁰С?

III. Реактор окисления диоксида серы

Задание № III-1

Окисление SO_2 в SO_3 проводится в многослойном реакторе с адиабатическими слоями катализатора. Тепло между слоями снимается **а)** в промежуточных теплообменниках, **б)** вводом холодного газа после 1-го слоя и теплообменниками после остальных (температура холодного газа $T_{\text{х.г.}} = 220^\circ\text{C}$).

Варианты условий проведения процесса:

	Варианты	1	2	3
Производительность, тонн 100% H_2SO_4 /сутки	А	100	300	540
Число слоев катализатора	Б	3	4	5
Катализатор	В	БАВ	СВД	ИК-4
Температура на входе, $^\circ\text{C}$	Г	440	420	–
Серусодержащее сырье	Д	Колчедан	Сера	–
Начальное содержание	Е	7	7,5	8
Степень превращения SO_2 , %	Ж	97	97,5	98

В координатах « $T - x$ » постройте на одном графике равновесные степени превращения, оптимальные температуры и профиль температуры по слоям катализатора в указанных реакторах. Определите в реакторах необходимое количество катализатора и его оптимальное распределение по слоям. Определите часовой расход сырья и воздуха.

Сопоставьте реакторы по количеству катализатора в них и объясните полученный результат.

Задание № III-2

Сравнить эффективность работы реакторов двух или трех схем из следующих вариантов:

	Варианты	1	2	3
Серусодержащее сырье	А	Колчедан	Сера	Сероводород
Начальное содержание SO_2 , об. %	Б	7	8	9
Катализатор	В	СВД	ИК-4	–
Температура на входе, $^\circ\text{C}$	Г	440	420	–
Число слоев катализатора	Д	3	4	5
Степень превращения SO_2 , %	Е	97	98	98,5
Организация теплообмена	Ж	Промежуточные теплообменники	ввод хол. реакц. смеси после 1-го слоя ($T_{\text{х.г.}} = 220^\circ\text{C}$)	ввод хол. воздуха между слоями ($T_{\text{х.в.}} = 50^\circ\text{C}$)

Режим потока в слое катализатора – идеальное вытеснение;

Интервал температур – $400^\circ - 600^\circ\text{C}$

Для сравнения использовать:

- а) число слоев катализатора;
- б) вид сырья;
- в) начальная концентрация SO_2 ;
- г) катализатор;
- д) организация теплообмена;

Объяснить полученные данные с точки зрения физико-химических представлений о процессе.

Задание № III-3

Рассчитать контактные аппараты окисления SO_2 в SO_3 для производства серной кислоты в системе «двойное контактирование – двойная абсорбция» (ДК/ДА). Исходные данные:

- производительность 360 тонн 100% H_2SO_4 в сутки;
- исходный газ получен сжиганием серы;
- начальное содержание SO_2 (об.%) – 1) 9; 2) 10;
- температура на входе в первый слой катализатора реактора I первой ступени контактирования 420°C ;
- степень превращения SO_2 x_k в системе (%) – А) 99,7; Б) 99,8;
- катализатор ИК-4;
- реакторы с промежуточными теплообменниками;
- количество слоев катализатора в ступенях контактирования: А) 3+2; Б) 3+1; В) 2+2.

Определить (подобрать) степень превращения SO_2 после первой ступени контактирования x_1 , при которой общее количество катализатора в реакторах системы будет минимальным. Значение x_1 подобрать с точностью 0,5%.

Рассчитать объемы слоев катализатора для реактора заданной производительности.

В координатах « $T - x$ » для каждого реактора построить на одном графике равновесные степени превращения, оптимальные температуры и профиль температуры по слоям катализатора.

Примечания:

- 1) После первой ступени контактирования и первой адсорбции (выделения SO_3) меняется состав и объем газа, поступающего во вторую ступень контактирования. Их следует определить, исходя из заданной величины общей степени превращения x_k и степени превращения x_1 после первого реактора.
- 2) Также для расчета второго реактора требуется определить степень окисления x_{II} оставшегося SO_2 после первой ступени, исходя из содержания SO_2 в исходном газе, степени его окисления x_1 в первом реакторе и заданной величины общей степени превращения x_k .

Приложение

Физико-химические данные окисления SO_2

тепловой эффект реакции	$Q_p = 94,1 \text{ кДж/моль}$
теплоемкость реакционной смеси	$c_p = 0,25 \text{ кал/(г·град)}$
плотность реакционной смеси	$\rho = 1,4 \text{ г/л}$ при нормальных условиях