

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине «Общая химическая технология»
для студентов очной формы обучения
направления подготовки
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Невинномысск 2021

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Общая химическая технология». Указания предназначены для студентов очной формы обучения направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

Составители

Л.В. Москаленко, канд. тех.наук

К.С. Сылко, ст. преподаватель.

Отв. редактор

А.Л. Проскурнин, канд.хим.наук, доцент.

Содержание

Введение	5
Тема 2. Общие закономерности химических процессов.....	6
Практическое занятие 1. Расходные коэффициенты	6
Тема 2. Общие закономерности химических процессов.....	9
Практическое занятие 2. Расходные коэффициенты (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	9
Тема 2. Общие закономерности химических процессов.....	12
Практическое занятие 3. Материальные расчеты необратимых химико-технологических процессов	12
Тема 2. Общие закономерности химических процессов.....	16
Практическое занятие 4. Материальные расчеты необратимых химико-технологических процессов (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	16
Тема 2. Общие закономерности химических процессов.....	19
Практическое занятие 5. Принцип составления энергетического баланса	19
Тема 2. Общие закономерности химических процессов.....	22
Практическое занятие 6. Принцип составления энергетического баланса (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	22
Тема 3. Общие закономерности химических процессов.....	24
Практическое занятие 7. Расчет констант равновесия, равновесного выхода продуктов	24
Тема 3. Общие закономерности химических процессов.....	27
Практическое занятие 8. Расчет констант равновесия, равновесного выхода продуктов (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	27
Тема 3. Промышленный катализ	30
Практическое занятие 9. Кинетика химико-технологических процессов.....	30
Тема 3. Промышленный катализ	33
Практическое занятие 10. Кинетика химико-технологических процессов (ПРОДОЛЖЕНИЕ).....	33
Тема 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ.....	36
Практическое занятие 11. Расчет энергии активации, констант скоростей различных процессов....	36
Тема 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ.....	42
Практическое занятие 12. Расчет энергии активации, констант скоростей различных процессов (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	42
Тема 3. Промышленный катализ	47
Практическое занятие 13. Определение оптимальных температур обратимых, гетерогенных, экзотермических, каталитических реакций	47
Тема 3. Промышленный катализ	51

Практическое занятие 14. Определение оптимальных температур обратимых, гетерогенных, экзотермических, каталитических реакций (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	51
Тема 4. Химические реакторы	54
Практическое занятие 15. Расчет реакционных объемов реакторов	54
Тема 4. Химические реакторы	57
Практическое занятие 16. Расчет реакционных объемов реакторов (ПРОДОЛЖЕНИЕ)	57

Введение

Дисциплина «Общая химическая технология» относится к дисциплине базовой части. Она направлена на формирование общекультурных и профессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Последовательность тем соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям студент должен изучить материал по соответствующей теме, используя основную и дополнительную литературу, а так же используя периодические издания СМИ.

ТЕМА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1. РАСХОДНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Цель занятия: познакомить студентов с алгоритмом построения химического производства; закрепить и расширить знания о технологическом процессе и его критериях; научить проводить расчет показателей;

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Целью этих расчётов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов. Основой

технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Материальные расчеты необходимы для полного и правильного выполнения технологических расчетов, лабораторного практикума, а также курсового проектирования и выпускных квалификационных работ на старших курсах.

Материальные расчеты, в частности составление материального баланса, начинают с расчета расходных коэффициентов. Расходный коэффициент – величина, характеризующая расход различного вида сырья, воды, топлива, электрической энергии, пара на единицу вырабатываемой продукции. Для расчета расходного коэффициента необходимо знать все стадии технологического процесса, в результате которого осуществляется превращение исходного сырья в готовый продукт.

Теоретические расходные коэффициенты A_T учитывают стехиометрические соотношения, по которым происходит превращение исходных веществ в целевой продукт.

Практические расходные коэффициенты $A_{ПР}$ кроме этого учитывают производственные потери на всех стадиях процесса, а также побочные реакции, если они имеются.

Коэффициенты рассчитывают по следующей формуле:

$$A_T \text{ (либо } A_{ПР}) = m_C / m_{ПР},$$

где m_C – количество сырья, кг, необходимого для получения продукции массой $m_{ПР}$, кг.

Вопросы и задания:

Примеры решения задач по определению расходных коэффициентов

Задание 1. Определить теоретические расходные коэффициенты для следующих железных руд, применяемых при производстве 1000 кг чугуна, который содержит 92 % железа, при условии, что руды не содержат пустой породы и примесей:

Шпатовый железняк $FeCO_3$ ($M = 115,8$ г/моль);

Лимонит $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ($M = 373$ г/моль);

Гетит $2Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$ ($M = 355$ г/моль);

Красный железняк Fe_2O_3 ($M = 159,7$ г/моль);

Магнитный железняк Fe_3O_4 ($M = 231,5$ г/моль).

Решение. Расчет расходного коэффициента по $FeCO_3$.

Из 1 кмоль $FeCO_3$ можно получить 1 кмоль Fe или можно записать:

$115,8 \text{ кг } FeCO_3 \rightarrow 55,9 \text{ кг Fe}$ (где 55,9 – молекулярная масса железа).

Отсюда для получения 1000 кг чугуна с содержанием железа 92 % необходимо:

$$A_T = (1000 \cdot 0,92 \cdot 115,8) / 55,9 = 1905,8 \text{ кг шпатового железняка.}$$

Аналогично находим значения теоретических расходных коэффициентов для других руд:

Для лимонита:

$$A_T = (1000 \cdot 0,92 \cdot 373) / 4 \cdot 55,9 = 1534,7 \text{ кг.}$$

Для гетита:

$$A_T = (1000 \cdot 0,92 \cdot 355) / 4 \cdot 55,9 = 1460,6 \text{ кг.}$$

Для красного железняка:

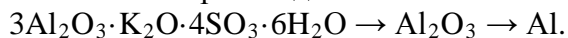
$$A_T = (1000 \cdot 0,92 \cdot 159,7) / 2 \cdot 55,9 = 1314,2 \text{ кг.}$$

Для магнитного железняка:

$$A_T = (1000 \cdot 0,92 \cdot 231,5) / 3 \cdot 55,9 = 1270 \text{ кг.}$$

Задание 2. Рассчитать практический расходный коэффициент алунитовой руды, содержащей 23 % Al_2O_3 , для получения 1000 кг алюминия, если потери алюминия на всех технологических стадиях составляют 12 % по массе. Алунит имеет формулу $3Al_2O_3 \cdot K_2O \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$ ($M = 828$ г/моль).

Схематично производство алюминия можно отобразить следующим образом:



Решение. Для получения 1000 кг алюминия теоретически потребуется следующее количество Al_2O_3 :

$$A_T = (102 \cdot 1000) / (2 \cdot 27) = 1888,9 \text{ кг}$$

или чистого алунита:

$$A_T = 1888,9 \cdot 828 / (3 \cdot 102) = 5111,1 \text{ кг.}$$

Содержание Al_2O_3 в алуните составляет:

$$\omega = (3 \cdot 102 \cdot 100 \%) / 828 = 37 \%.$$

По условию в алунитовой руде содержится 23 % Al_2O_3 . Следовательно, расход алунитовой руды заданного состава на 1000 кг алюминия при условии полного ее использования составит:

$$A_T = 5111,1 \text{ кг} \cdot 37 \% / 23 \% = 8222,2 \text{ кг.}$$

Практический расход, учитывающий производственные потери алюминия на всех стадиях, составит:

$$A_{\text{ПР}} = 8222,2 : 0,88 = 9343,4 \text{ кг.}$$

Ответ: для получения 1000 кг алюминия необходимо 9343,4 кг алунита.

Базовый уровень

Задание 1. Определить расходные коэффициенты извести и кокса в производстве технического карбида кальция (ТКК), имеющего по анализу следующий состав: $CaC_2 = A$ %, $CaO = B$ %, $C = B$ %, прочие примеси (ПП) = Γ %. Расчет вести на 1000 кг технического продукта. Содержание в коксе: золы – D %, летучих компонентов (ЛК) – E %, влаги – $Ж$ %, углерода – $И$ %. Известь содержит K % чистого CaO . Карбид кальция получается по следующей реакции $CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO$. Варианты контрольного задания представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Варианты заданий

Вариант	Состав ТКК, %				Состав кокса, %				СаО в извести, % (К)
	СаС ₂ (А)	СаО (Б)	С (В)	ПП (Г)	Зола (Д)	ЛК (Е)	Влага (Ж)	С (И)	
1	78	15	3	4	4	4	3	89	96,5
2	77	16	3	4	3	3	5	89	96,0
3	78	15	4	3	2	3	6	89	97,0
4	76	15	3	6	4	4	4	88	96,4
5	76	14	5	5	2	2	3	93	96,6
6	77	13	3	7	4	4	3	89	96,5
7	77	12	3	8	3	3	5	89	96,0
8	77	11	3	9	2	3	6	89	97,0
9	77	14	3	6	4	4	4	88	96,4
10	77	15	3	5	2	2	3	93	96,6
11	78	15	3	4	4	3	2	91	96,5
12	77	16	3	4	3	3	2	92	96,0
13	78	15	4	3	2	3	2	93	97,0
14	76	15	3	6	4	2	1	93	96,4
15	76	14	5	5	2	2	1	95	96,6
16	77	13	3	7	4	2	1	93	96,5
17	77	12	3	8	3	2	1	94	96,0
18	77	11	3	9	2	4	1	93	97,0
19	77	14	3	6	4	4	1	91	96,4
20	77	15	3	5	2	4	1	93	96,6

Задание 2. Белая глина, в составе которой 44,5% SiO₂ и 3,31 % Al₂O₃ (по массе), повысилась на 3,37%, предназначенная для получения тонкой керамики, подвергалась отмучиванию. После обогащения массовая доля SiO₂ повысилась на 3,37%, а Al₂O₃ – на 4,82%. Определите: 1) массовую долю минерала каолина в (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O) концентрате; на сколько сократилось содержание примесей в результате обогащения.

Повышенный уровень

Задание 1. При обогащении 8,0 т медной (сульфидной) руды, содержащей 1,6 % меди, получено 400 кг концентрата, содержащего 24% меди. Определить степень извлечения меди и степень концентрации.

Ответ. Степень извлечения – 75%, степень концентрации – 15раз.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов. рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm> - ресурсы портала для общего образования <http://www.school.edu.ru/default.asp> - "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 - Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2. РАСХОДНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: познакомить студентов с алгоритмом построения химического производства; закрепить и расширить знания о технологическом процессе и его критериях; научить проводить расчет показателей;

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Целью этих расчётов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Материальные расчеты необходимы для полного и правильного выполнения технологических расчетов, лабораторного практикума, а также курсового проектирования и выпускных квалификационных работ на старших курсах.

Материальные расчеты, в частности составление материального баланса, начинают с расчета расходных коэффициентов. Расходный коэффициент – величина, характеризующая расход различного вида сырья, воды, топлива, электрической энергии, пара на единицу вырабатываемой продукции. Для расчета расходного коэффициента необходимо знать все стадии технологического процесса, в результате которого осуществляется превращение исходного сырья в готовый продукт.

Теоретические расходные коэффициенты AT учитывают стехиометрические соотношения, по которым происходит превращение исходных веществ в целевой продукт.

Практические расходные коэффициенты APR кроме этого учитывают производственные потери на всех стадиях процесса, а также побочные реакции, если они имеются.

Коэффициенты рассчитывают по следующей формуле:

$$AT \text{ (либо } APR) = mC / mПР,$$

где mC – количество сырья, кг, необходимого для получения продукции массой $mПР$, кг.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задание 1. При обогащении 6 т руды, содержащей 2% цинка, получено 350 кг концентрата, содержащего 25% цинка. Определить выход концентрата, степень извлечения, степень концентрации.

Ответ. Выход концентрата – 5,8%, степень извлечения цинка – 72,9%, степень концентрации – 12,5 раза.

Задание 2. При флотации свинцовой руды, содержащей 1,3% свинца, получено 380 кг концентрата, содержащего 18% свинца. Выход концентрата равен 5,5 %. Определить количество флотируемой руды, степень извлечения, степень концентрации.

Ответ. Количество флотируемой руды – 6909 кг, степень извлечения свинца – 76,2%, степень обогащения – 13,8 раза.

Задание 3. На некоторых обогатительных фабриках страны действуют установки для обогащения угля в тяжелых средах со следующими показателями: производительность установки 250 т/ч сырья и 150 т/ч концентрата; зольность концентрата 20% (в массовых долях), а сырья – 40 %. Определите: 1) массу концентрата; 2) выход концентрата; 3) степень извлечения угля; 4) массу отходов и массовую долю в них угля.

Повышенный уровень

Задание 1. Магнитный сепаратор горно-обогатительного комбината перерабатывает в час 160 т измельченного титаномагнетита. При этом получается магнитный продукт с выходом 38,1% и степенью извлечения железа 72,1%. Массовая доля железа в руде 16,9%, а в продукте – 32%. Определите массу концентрата и массу отходов, а также массовую долю железа в них.

Задание 2. Из 100 т полиметаллической руды было получено 2240 кг медного концентрата со степенью концентрации 35,7%, и 84 кг молибденового концентрата со степенью концентрации 8,33%. Массовые доли меди и молибдена в концентратах равны соответственно 25 и 50 %. Определите выходы концентратов и степень извлечения металлов.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампиди, В. Г. Иванов, Э. В.

Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm> - ресурсы портала для общего образования
<http://www.school.edu.ru/default.asp> - "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 - Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3. МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ НЕОБРАТИМЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Цель занятия: расчет основных показателей химико-технологических процессов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Целью этих расчётов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Химико-технологические расчеты составляют главную часть проекта новых химических производств, они же являются завершающей стадией научных исследований и выполняются при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов является составление материальных и тепловых балансов.

Материальный баланс основан на законе сохранения массы вещества, согласно которому масса веществ, поступивших в замкнутую систему, равна массе веществ на выходе из нее. Применительно к материальному балансу любого технологического процесса это означает, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию, – *приход*, равна массе всех веществ, получившихся в результате ее, – *расходу*.

Материальный баланс может быть представлен уравнением, левую часть которого составляет масса всех видов сырья и материалов, поступающих на переработку ($\Sigma m_{\text{прих}}$), а правую – масса получаемых продуктов плюс производственные потери ($\Sigma m'_{\text{расх}}$):

$$\Sigma m_{\text{прих}} = \Sigma m'_{\text{расх}}$$

Уравнение материального баланса может быть представлено в следующем виде:

$$m_1^{\Gamma} + m_1^{\text{Ж}} + m_1^{\text{Т}} + m_2 = m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7,$$

где m_1 и m_2 – массы поступившего газообразного, жидкого и твердого сырья и вспомогательного материала; m_3, m_4, m_5 – полученные целевой продукт, побочный продукт, отход соответственно; m_6 – непрореагировавшее сырье; m_7 – производственные потери. Слагаемые прихода и расхода, число которых зависит от состава производственных потоков, называют *статьями* материального баланса.

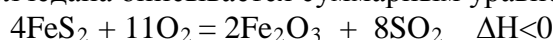
Материальный баланс – зеркало технологического процесса, отражающее расходные коэффициенты по сырью, наличие твердых отходов, газообразных выбросов, жидких стоков, состав образующихся продуктов. Чем подробнее изучен процесс, тем более полно можно составить материальный баланс. Составляют его по уравнению основной суммарной реакции с учетом параллельных и побочных реакций. Поскольку на практике приходится иметь дело не с чистыми веществами, а с сырьем сложного химического состава, то для составления материального баланса следует учитывать массу всех компонентов, входящих в его состав. Для этого пользуются данными химических анализов.

Вопросы и задания:

Задача 1. Определите количество сухого воздуха, необходимого для сжигания 1000 кг колчедана, и объем полученного обжигового газа, если колчедан содержит 42% S, а огарок – 0,5%. Влажность колчедана 7,5%. Концентрация SO₂ в обжиговом газе равна 10% (об.).

Решение

Процесс горения колчедана описывается суммарным уравнением:



Объем воздуха для сжигания 1000 кг колчедана:

$$V_{\text{возд.}} = \left[\left(\frac{700}{C_{\text{SO}_2}} + 7(m - 1) \right) C_{\text{S}_{\text{выг}}} \right]$$

где: C_{SO₂} – заданная концентрация диоксида серы в обжиговом газе;

m – стехиометрическое отношение числа молей кислорода к числу молей диоксида серы;

C_{S_{выг}} – количество выгоревшей серы;

$$V_{\text{возд.}} = \left[\left(\frac{700}{C_{\text{SO}_2}} + 2,625 \right) C_{\text{S}_{\text{выг}}} \right]$$

Количество выгоревшей серы C_{S_{выг}} вычислим по формуле:

$$C_{\text{S}_{\text{выг}}} = C_{\text{S}_{\text{факт}}} - X \cdot C_{\text{S}_{\text{ог}}}$$

Содержание серы в сухом колчедане равно:

$$C_{\text{S}_{\text{факт}}} = \frac{42}{100 - 7,5} \cdot 100 = 45,4\%$$

Количество полученного огарка:

$$X = \frac{100 - 45,4}{100 - 0,5} = 0,549 \text{ т}$$

Количество выгоревшей серы:

$$C_{\text{S}_{\text{выг}}} = 45,4 - 0,549 \cdot 0,5 = 45,1\%$$

Объем воздуха для сжигания 1000 кг колчедана:

$$V_{\text{возд.}} = \left[\left(\frac{700}{10} + 2,625 \right) \right] \cdot 45,1 = 3275,4 \text{ м}^3$$

Объем получаемого обжигового газа:

$$V_{\text{Г}} = 700 \cdot C_{\text{S}_{\text{выг}}} / C_{\text{SO}_2} = (700 \cdot 45,1) / 10 = 3157 \text{ м}^3$$

В пересчете на 1 т влажного колчедана, объем сухого воздуха требуемого для сжигания 1 т колчедана составит:

$$V_{\text{возд.}} = 3275,4 \cdot \frac{100 - 7,5}{100} = 3029,7 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{Г}} = 3157 \cdot \frac{100 - 7,5}{100} = 2920,2 \text{ м}^3$$

Задача 2. Исходя из условий предыдущего примера, рассчитать состав сухого и влажного обжигового газа. Влажность воздуха 3%(об.).

Решение

Сухого воздуха на обжиг 1 т влажного колчедана поступает 3029,7 м³, в том числе:

$$\text{N}_2 \dots \dots \dots 3029,7 \cdot 0,79 = 2393,5 \text{ м}^3;$$

$$O_2 \dots\dots\dots 3029,7 \cdot 0,21 = 502,6 \text{ м}^3.$$

Количество водяного пара, поступающего с воздухом:

$$\frac{3029,7 \cdot 3}{100-3} = 93,7 \text{ м}^3;$$

Содержание кислорода в сухом обжиговом газе определяем по формуле:

$$C_{O_2} = 21 - 1,296 \cdot C_{SO_2} = 21 - 1,296 \cdot 10 = 8\%(\text{об.});$$

Концентрация азота в сухом газе:

$$C_{N_2} = 100 - C_{SO_2} - C_{O_2} = 100 - 10 - 8 = 82\%(\text{об.});$$

Общее количество сухого обжигового газа: $2393,5/0,82 = 2918,9 \text{ м}^3$

Состав сухого газа:

N_2	$2393,5 \text{ м}^3$	(82%об.)
O_2	$502,6 \text{ м}^3$	(8% об.)
SO_2	$291,9 \text{ м}^3$	(10%об.)

Количество влаги, поступающей в газ из 1 т колчедана:

$$\frac{1 \cdot 1000 \cdot 0,075 \cdot 22,4}{18} = 93,3 \text{ м}^3$$

Общее содержание влаги в газе: $93,7 + 93,3 = 187 \text{ м}^3$

Состав влажного газа:

N_2	$2393,5 \text{ м}^3$	(70,9%об.)
O_2	$502,6 \text{ м}^3$	(14,9% об.)
SO_2	$291,9 \text{ м}^3$	(8,7%об.)
H_2O	187 м^3	(5,5%об.)
Всего: 3375 м^3		

Базовый уровень

Задача 1. Из условий предыдущей задачи составить материальный баланс производства моногидрата серной кислоты.

Задача 2. Составить материальный баланс печного отделения. Исходные данные для расчета: количество производимого диоксида серы – 150000 м³; сырье ZnS; концентрация диоксида серы в обжиговом газе 6%(об.). Потери диоксида серы в процессе обжига 0,5%.

Повышенный уровень

Задача 1. На основании расчетных расходных коэффициентов сырьевых материалов: серного колчедана, сульфида железа, сероводорода и серы, необходимых для производства 1 т моногидрата серной кислоты, сделать вывод о наиболее целесообразных сырьевых источниках для производства серной кислоты.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М.

Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2

3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524

4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ НЕОБРАТИМЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: расчет основных показателей химико-технологических процессов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию

ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Целью этих расчётов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов. Основой технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Химико-технологические расчеты составляют главную часть проекта новых химических производств, они же являются завершающей стадией научных исследований и выполняются при обследовании работающих цехов и установок. Основой технологических расчетов является составление материальных и тепловых балансов.

Материальный баланс основан на законе сохранения массы вещества, согласно которому масса веществ, поступивших в замкнутую систему, равна массе веществ на выходе из нее. Применительно к материальному балансу любого технологического процесса это означает, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию, – *приход*, равна массе всех веществ, получившихся в результате ее, – *расходу*.

Материальный баланс может быть представлен уравнением, левую часть которого составляет масса всех видов сырья и материалов, поступающих на переработку ($\Sigma m_{\text{прих}}$), а правую – масса получаемых продуктов плюс производственные потери ($\Sigma m'_{\text{расх}}$):

$$\Sigma m_{\text{прих}} = \Sigma m'_{\text{расх}}$$

Уравнение материального баланса может быть представлено в следующем виде:

$$m_1^{\Gamma} + m_1^{\text{Ж}} + m_1^{\text{Т}} + m_2 = m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7,$$

где m_1 и m_2 – массы поступившего газообразного, жидкого и твердого сырья и вспомогательного материала; m_3, m_4, m_5 – полученные целевой продукт, побочный продукт, отход соответственно; m_6 – непрореагировавшее сырье; m_7 – производственные потери. Слагаемые прихода и расхода, число которых зависит от состава производственных потоков, называют *статьями* материального баланса.

Материальный баланс – зеркало технологического процесса, отражающее расходные коэффициенты по сырью, наличие твердых отходов, газообразных выбросов, жидких стоков, состав образующихся продуктов. Чем подробнее изучен процесс, тем более полно можно составить материальный баланс. Составляют его по уравнению основной суммарной реакции с учетом параллельных и побочных реакций. Поскольку на практике приходится иметь дело не с чистыми веществами, а с сырьем сложного химического состава, то для составления материального баланса следует учитывать массу всех компонентов, входящих в его состав. Для этого пользуются данными химических анализов.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задача 1. Определить количество сырья для производства 1 т моногидрата серной кислоты. Исходное сырье природная сера, содержание серы – 99%, негорючие примеси серы–1%, потери серы – 0,8%. Степень контактирования диоксида серы– 99,5%, степень абсорбции – 70%.

Задача 2. Определите количество сухого воздуха, необходимого для сжигания 2000 кг колчедана, и объем полученного обжигового газа, если колчедан содержит 43% S, а огарок – 0,6%. Влажность колчедана 7,0%. Концентрация SO₂ в обжиговом газе равна 10% (об.).

Повышенный уровень

Задача 1. Составить материальный баланс печного отделения производства серной кислоты. Исходные данные для расчета: количество производимого диоксида серы – 175000 м³; сырье CuS; концентрация диоксида серы в обжиговом газе 7%(об.). Потери диоксида серы в процессе обжига 0,5%.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5. ПРИНЦИП СОСТАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Цель занятия: расчет основных показателей химико-технологических процессов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Целью этих расчётов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов. Основой

технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Энергетический (тепловой) баланс любого аппарата может быть представлен в виде уравнения, связывающего приход и расход энергии (тепла) процесса (аппарата). Энергетический баланс составляется на основе закона сохранения энергии, в соответствии с которым в замкнутой системе сумма всех видов энергии постоянна. Обычно для химических процессов составляется тепловой баланс. Уравнение теплового баланса:

$$\Sigma Q_{\text{пр}} = \Sigma Q_{\text{расх}}$$

$$\text{или } \Sigma Q_{\text{пр}} - \Sigma Q_{\text{расх}} = 0$$

Применительно к тепловому балансу закон сохранения энергии формулируется следующим образом: приход теплоты в данном аппарате (или производственной операции) должен быть равен расходу теплоты в том же аппарате (или операции). Для аппаратов (процессов) непрерывного действия тепловой баланс, как правило, составляют на единицу времени, а для аппаратов (процессов) периодического действия – на время цикла (или отдельного перехода) обработки. Тепловой баланс рассчитывают по данным материального баланса с учетом тепловых эффектов (экзотермических и эндотермических) химических реакций и физических превращений (испарение, конденсация и т.п.), происходящих в аппарате с учетом подвода теплоты извне и отвода ее с продуктами реакции, а также через стенки аппарата. Тепловой баланс подобно материальному выражают в виде таблиц, диаграмм, а для расчета используют следующее уравнение

$$Q_t + Q_{\text{ж}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}} = Q'_t + Q'_{\text{ж}} + Q'_{\text{г}} + Q'_{\text{ф}} + Q'_{\text{р}} + Q'_{\text{п}}$$

где $Q_t, Q_{\text{ж}}, Q_{\text{г}}$ – количество теплоты, вносимое в аппарат твердыми, жидкими и газообразными веществами соответственно; $Q'_t, Q'_{\text{ж}}, Q'_{\text{г}}$ – количество теплоты, уносимое из аппарата выходящими продуктами и полупродуктами реакции и не прореагировавшими исходными веществами в твердом, жидком и газообразном виде; $Q_{\text{ф}}$ и $Q'_{\text{ф}}$ – теплота физических процессов, происходящих с выделением и поглощением ($Q'_{\text{ф}}$) теплоты; $Q_{\text{р}}$ и $Q'_{\text{р}}$ – количество теплоты, выделяющееся в результате экзо- и эндотермических реакций ($Q'_{\text{р}}$); $Q_{\text{п}}$ – количество теплоты, подводимое в аппарат извне (в виде дымовых газов, нагретого воздуха, сжигания топлива, электроэнергии и т.п.); $Q'_{\text{п}}$ – потери тепла в окружающую среду, а также отвод тепла через холодильники, помещенные внутри аппарата. Величины $Q_t, Q_{\text{ж}}, Q_{\text{г}}, Q'_t, Q'_{\text{ж}}, Q'_{\text{г}}$ рассчитывают для каждого вещества, поступающего в аппарат и выходящего из него по формуле:

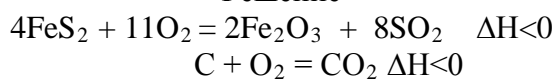
$$Q = Gct$$

где G – количество вещества, c – средняя теплоемкость этого вещества; t – температура, отсчитанная от какой-либо точки (обычно от 0°C).

Вопросы и задания:

Задача 1. Определить теоретическую теплотворную способность углистого колчедана, содержащего 43% S и 6% C, зная, что 1 кг чистого колчедана при сгорании дает 7060 кДж/кг, а 1 кг чистого углерода – 32700 кДж/кг.

Решение



Чистый колчедан (пирит) содержит серы:

$$\frac{32 \cdot 2 \cdot 100}{120} = 53,35\%$$

Руда – углистый колчедан содержит:

$$\begin{aligned} \text{Колчедан} & \dots\dots\dots \frac{43}{53,35} = 0,806 \text{ кг}; \\ \text{Углерод} & \dots\dots\dots 0,06 \text{ кг}; \\ \text{Пустая порода} & \dots\dots\dots 0,134 \text{ кг}. \end{aligned}$$

$$Q = 7060 \cdot 0,806 + 32700 \cdot 0,06 = 5690,4 + 1962 = 7652,4 \text{ кДж/кг}.$$

Базовый уровень

Задача 1. Определить количество теплоты уносимой из печи газом состава в % (об.): диоксида серы – 10, кислорода – 7, паров воды – 3, азота – 80.

Объем газа – 3000 м³, температура 600 °С.

Задача 2. Рассчитать суммарный приход тепла процесса синтеза карбамида с учетом данных материального баланса:

Повышенный уровень

Задача 1. Дать характеристику современным агрегатам по производству серной кислоты. Сравнить их производительность, эффективность, качество готового продукта и экологичность установок.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов. рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования <http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6. ПРИНЦИП СОСТАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: расчет основных показателей химико-технологических процессов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования и выполняются также при обследовании работающих цехов и установок. Целью этих расчётов может быть определение кинетических констант и оптимальных параметров производства или же вычисление реакционных объемов и основных размеров химических реакторов. Основой

технологических расчетов являются материальные и тепловые расчеты. К ним следует отнести определение выхода основного и побочных продуктов, расходных коэффициентов по сырью, производственных потерь. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса.

Теоретическая часть

Энергетический (тепловой) баланс любого аппарата может быть представлен в виде уравнения, связывающего приход и расход энергии (тепла) процесса (аппарата). Энергетический баланс составляется на основе закона сохранения энергии, в соответствии с которым в замкнутой системе сумма всех видов энергии постоянна. Обычно для химических процессов составляется тепловой баланс. Уравнение теплового баланса:

$$\Sigma Q_{\text{пр}} = \Sigma Q_{\text{расх}}$$

$$\text{или } \Sigma Q_{\text{пр}} - \Sigma Q_{\text{расх}} = 0$$

Применительно к тепловому балансу закон сохранения энергии формулируется следующим образом: приход теплоты в данном аппарате (или производственной операции) должен быть равен расходу теплоты в том же аппарате (или операции). Для аппаратов (процессов) непрерывного действия тепловой баланс, как правило, составляют на единицу времени, а для аппаратов (процессов) периодического действия – на время цикла (или отдельного перехода) обработки. Тепловой баланс рассчитывают по данным материального баланса с учетом тепловых эффектов (экзотермических и эндотермических) химических реакций и физических превращений (испарение, конденсация и т.п.), происходящих в аппарате с учетом подвода теплоты извне и отвода ее с продуктами реакции, а также через стенки аппарата. Тепловой баланс подобно материальному выражают в виде таблиц, диаграмм, а для расчета используют следующее уравнение

$$Q_{\text{т}} + Q_{\text{ж}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}} = Q'_{\text{т}} + Q'_{\text{ж}} + Q'_{\text{г}} + Q'_{\text{ф}} + Q'_{\text{р}} + Q'_{\text{п}}$$

где $Q_{\text{т}}$, $Q_{\text{ж}}$, $Q_{\text{г}}$ – количество теплоты, вносимое в аппарат твердыми, жидкими и газообразными веществами соответственно; $Q'_{\text{т}}$, $Q'_{\text{ж}}$, $Q'_{\text{г}}$ – количество теплоты, уносимое из аппарата выходящими продуктами и полупродуктами реакции и не прореагировавшими исходными веществами в твердом, жидком и газообразном виде; $Q_{\text{ф}}$ и $Q'_{\text{ф}}$ – теплота физических процессов, происходящих с выделением и поглощением ($Q'_{\text{ф}}$) теплоты; $Q_{\text{р}}$ и $Q'_{\text{р}}$ – количество теплоты, выделяющееся в результате экзо- и эндотермических реакций ($Q'_{\text{р}}$); $Q_{\text{п}}$ – количество теплоты, подводимое в аппарат извне (в виде дымовых газов, нагретого воздуха, сжигания топлива, электроэнергии и т.п.); $Q'_{\text{п}}$ – потери тепла в окружающую среду, а также отвод тепла через холодильники, помещенные внутри аппарата. Величины $Q_{\text{т}}$, $Q_{\text{ж}}$, $Q_{\text{г}}$, $Q'_{\text{т}}$, $Q'_{\text{ж}}$, $Q'_{\text{г}}$ рассчитывают для каждого вещества, поступающего в аппарат и выходящего из него по формуле:

$$Q = Gct$$

где G – количество вещества, c – средняя теплоемкость этого вещества; t – температура, отсчитанная от какой-либо точки (обычно от 0°C).

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задача 1. Составьте тепловой баланс реактора синтеза этилового спирта, где протекает реакция $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + Q_{\text{р}}$ ($Q_{\text{р}} = 46090$ кДж/кмоль), если исходный газ имеет состав: 40% H_2O и 60% C_2H_4 , скорость его подачи в реактор-гидрататор 2000 м³/ч, температура на входе 563К, а на выходе из реактора 614К, конверсия за проход этилена 5%. Теплоемкость продуктов на входе и выходе одинакова и равна 27,1 кДж/кмоль. Побочные процессы и продукты не учитывать. Потери теплоты в окружающую среду принимаем 3% от прихода теплоты.

Задача 2. Составить тепловой баланс обжига колчедана на основе материального баланса, рассчитанного в предыдущей задаче. Температура колчедана и воздуха 20 °С, огарка 750 °С, обжигового газа 850° С. Расчет ведем на 1000 кг влажного колчедана.

Повышенный уровень

Задача 1. Составить тепловой баланс первой стадии промывки печного газа и определить размеры промывной башни.

Исходные данные: производительность завода 100000 т/год моногидрата; расход колчедана 0,878 т на 1 т моногидрата. Из 1 т колчедана получают 2916 м³ печного газа, содержащего 9,6% (об.) SO₂ и 74 кг водяного пара, примешанного к этому газу. Температура поступающего газа 300 °С, уходящего 115 °С. Промывной аппарат питается 76%-ной H₂SO₄; температура поступающей кислоты 50 °С. Планово-предупредительный ремонт осуществляется в течение всего года; на капитальный ремонт завод останавливают на 10 дней в году.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7. РАСЧЕТ КОНСТАНТ РАВНОВЕСИЯ, РАВНОВЕСНОГО ВЫХОДА ПРОДУКТОВ

Цель занятия: расчет констант равновесия, равновесного выхода продуктов на основе термодинамических данных.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

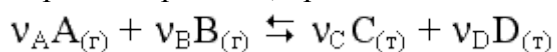
Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Современный промышленный катализ базируется на большом ассортименте различных каталитических систем, который используют почти в 90% процессов химической технологии в странах Европы и США, и при этом получают до 30% национального дохода, т.е. катализ остается главным методом получения химических веществ. Поэтому в документах, определяющих перспективные направления исследований, ведущее место отводится катализу

Теоретическая часть

Обратимая реакция, протекающая в любой системе при постоянной температуре



характеризуется наступлением состояния **истинного химического равновесия**. В этом состоянии выполняется (по определению) условие неизменности во времени молярных концентраций реагентов и продуктов, называемых **равновесными концентрациями**.

В отличие от молярной концентрации некоторого вещества В (c_B) в любом неравновесном состоянии системы равновесная концентрация того же вещества обозначается квадратными скобками [В].

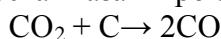
Для обратимой химической реакции, протекающей при некоторой температуре, устанавливаются любые, но **постоянные** равновесные концентрации [А], [В], [С], [D]. Они не зависят друг от друга, а **определяются только положением состояния равновесия**. В соответствии с **законом действующих масс** состояние равновесной химической системы характеризуется **константой равновесия**:

$$K_C = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \text{const} = f(T),$$

где $a = \nu_A$; $b = \nu_B$; $c = \nu_C$; $d = \nu_D$.

Вопросы и задания:

Задача 1. Найти равновесный состав газа в процессе восстановления:



Решение:

1. В состоянии равновесия число молей компонентов газа составит:

$$\begin{array}{ll} \text{CO}_2: & 1 - X_p \\ \text{CO}: & 2X_p \end{array}$$

2. Найдем константу равновесия K_p при нормальных условиях:

$$\Delta G_{\text{CO}_2} = -394,37 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta G_{\text{CO}} = -137,15 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta G = -RT \ln K_p$$

$$\Delta G_{\text{x.p.}}^0 = 2(-137,15) - (-394,37) = 120,07 \text{ кДж/моль}$$

$$K_p = 7,008$$

3. Найдем X_p

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}}^2}{P_{\text{CO}_2}}$$

При давлении в 1 кгс/см²

$$K_p = \frac{(2X_p)^2}{1 - X_p}$$

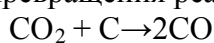
$$X_p = 0,7106 \text{ или } 71,06\%$$

4. При равновесной системе превращения 71,06%. состав газа будет:

$$\begin{array}{l} 71,06\% \text{ CO} \\ 28,94\% \text{ CO}_2 \end{array}$$

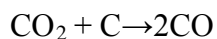
Базовый уровень

Задача 1. Равновесная степень превращения реакции:



составляет 71,06%. Найти состав газовой реакционной смеси, если состав исходного газа: CO_2 – 60% (об.), N_2 – 30% (об.), Ar – 10% (об.).

Задача 2. Определить состав реакционной газовой смеси восстановления CO_2 по реакции:



если степень превращения составляет 42%. Исходный состав газа в % (об.): CO_2 – 76%, H_2O – 14, N_2 – 10.

Повышенный уровень

Задача 1. Газ состава, % (об.): оксид углерода (II) – 36, водород – 36, оксид углерода (IV) – 6, азот – 22 подвергается паровой конверсии при температуре 823 К, давлении 2 МПа и соотношении пар : газ, равном 1. Определить равновесный состав и степень конверсии газа.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8. РАСЧЕТ КОНСТАНТ РАВНОВЕСИЯ, РАВНОВЕСНОГО ВЫХОДА ПРОДУКТОВ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: расчет констант равновесия, равновесного выхода продуктов на основе термодинамических данных.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

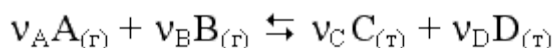
Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Современный промышленный катализ базируется на большом ассортименте различных каталитических систем, который используют почти в 90% процессов химической технологии в странах Европы и США, и при этом получают до 30% национального дохода, т.е. катализ остается главным методом получения химических веществ. Поэтому в документах, определяющих перспективные направления исследований, ведущее место отводится катализу

Теоретическая часть

Обратимая реакция, протекающая в любой системе при постоянной температуре



характеризуется наступлением состояния **истинного химического равновесия**. В этом состоянии выполняется (по определению) условие неизменности во времени молярных концентраций реагентов и продуктов, называемых **равновесными концентрациями**.

В отличие от молярной концентрации некоторого вещества В (c_B) в любом неравновесном состоянии системы равновесная концентрация того же вещества обозначается квадратными скобками [В].

Для обратимой химической реакции, протекающей при некоторой температуре, устанавливаются любые, но **постоянные** равновесные концентрации [А], [В], [С], [D]. Они не зависят друг от друга, а **определяются только положением состояния равновесия**. В соответствии с **законом действующих масс** состояние равновесной химической системы характеризуется **константой равновесия**:

$$K_C = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \text{const} = f(T),$$

где $a = \nu_A$; $b = \nu_B$; $c = \nu_C$; $d = \nu_D$.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задача 1. Газ следующего состава, % (об.): оксид углерода (II) – 36, водород – 36, оксид углерода (IV) – 6, азот – 22 подвергается паровой конверсии при температуре 823 К, давлении 2 МПа и соотношении пар : газ, равном 1. Определить равновесный состав и степень конверсии газа

Задача 2. По данным задачи 4, составить материальный баланс по каждой полке реактора из расчета расхода газа на первую полку реактора – 35000 м³/ч.

Повышенный уровень

Задача 1. Нитрозный газ в количестве 1000 м³ состава, % (об.): оксида азота (II) – 7,5; кислорода – 5%, азота – 81,5 окисляется на 40%. Определить состав газа после окисления.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 9. КИНЕТИКА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Цель занятия: расчет скорости химико-технологических процессов с использованием кинетических уравнений различных порядков.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Современный промышленный катализ базируется на большом ассортименте различных каталитических систем, который используют почти в 90% процессов химической технологии в странах Европы и США, и при этом получают до 30% национального дохода, т.е. катализ остается главным методом получения химических веществ. Поэтому в документах, определяющих перспективные направления исследований, ведущее место отводится катализу.

Теоретическая часть

Общая скорость процесса складывается из скоростей его отдельных стадий и определяется наиболее медленной (лимитирующей) стадией. Скорость можно выразить изменением числа молей какого-либо компонента, происходящим за единицу времени в единице объема, фазы (в случае гомогенной реакции) или на единицу поверхности раздела фаз (в случае гетерогенной реакции).

Исходя из этого определения, скорость процесса, протекающего в кинетической области, выразится уравнением для гомогенной реакции:

$$W = \pm \frac{1}{V} \cdot \frac{dN}{dt},$$

для гетерогенной реакции:

$$W = \pm \frac{1}{F} \cdot \frac{dN}{dt},$$

где: N – число образовавшихся или прореагировавших молей;

V – объем, занимаемый реагирующими веществами, объем фазы;

F – поверхность контакта фаз; t – время.

Скорость можно выражать как производную от концентрации реагирующего вещества по времени (при постоянном объеме системы)

$$W = \pm \frac{dC}{dt}.$$

Преобразовывая кинетические уравнения для простых реакций разных порядков (деля переменные и интегрируя) получим уравнения для реакций разных порядков позволяющие определить константы скоростей.

Уравнение реакции первого порядка:

$$K = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{a}{a-x}.$$

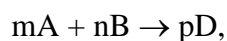
Уравнение реакции второго порядка:

$$K = \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{a-b} \cdot \ln \frac{(a-x)b}{a(b-x)}.$$

Уравнение реакции третьего порядка:

$$K = \frac{1}{2t} \left[\frac{1}{(a-x)^2} - \frac{1}{a^2} \right],$$

где: a – начальное число молей первого реагента; b – начальное число молей второго реагента; x – число молей, которое прореагировало к моменту t . Кинетическое уравнение, выражающее механизм реакции имеет вид:



$$W = K [A]^m [B]^n.$$

Зависимость константы скорости химической реакции от температуры определяется уравнением Аррениуса:

$$K = K_0 e^{-E/RT}.$$

Вопросы и задания:

Задача 1. Вещества А и В вступают между собой в химическое взаимодействие. Определить порядок реакции, пользуясь следующими данными:

t, мин	0,0	10	30,0,
X, % прореагировавших веществ	19,8	46,7	74,0.

Решение

Предположим, что реакция протекает по первому порядку для вещества А.

$$\text{Тогда } K = \frac{2,3}{t} \cdot \lg \frac{a}{a-x}.$$

Найдем K :

$$K_1 = \frac{2,3}{10} \lg \frac{0,802}{0,802 - 0,467} = 0,088 \text{ мин}^{-1},$$

$$K_2 = \frac{2,3}{30} \lg \frac{0,802}{0,802 - 0,74} = 0,086 \text{ мин}^{-1}.$$

Так как K остается практически постоянной, то порядок реакции первый.

Базовый уровень

Задача 1. Газовая смесь для синтеза аммиака состоит из азота и водорода. Найти соотношение H_2 и N_2 , при котором скорость реакции $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$ будет максимальной.

Задача 2. Вещества А и В вступают между собой в химическое взаимодействие. Определить порядок реакции, пользуясь следующими данными:

t, мин	0,0	10	50,0
X, % прореагировавших веществ	5,0	50,3	98,0.

Повышенный уровень

Задача 1. Рассчитать максимальную скорость реакции синтеза аммиака $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$ при соотношении H_2 и N_2 равном 3,14 : 1.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm> - ресурсы портала для общего образования <http://www.school.edu.ru/default.asp> - "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 - Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 10. КИНЕТИКА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: расчет скорости химико-технологических процессов с использованием кинетических уравнений различных порядков.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Современный промышленный катализ базируется на большом ассортименте различных каталитических систем, который используют почти в 90% процессов химической технологии в странах Европы и США, и при этом получают до 30% национального дохода, т.е. катализ остается главным методом получения химических веществ. Поэтому в документах, определяющих перспективные направления исследований, ведущее место отводится катализу.

Теоретическая часть

Общая скорость процесса складывается из скоростей его отдельных стадий и определяется наиболее медленной (лимитирующей) стадией. Скорость можно выразить изменением числа молей какого-либо компонента, происходящим за единицу времени в единице объема, фазы (в случае гомогенной реакции) или на единицу поверхности раздела фаз (в случае гетерогенной реакции).

Исходя из этого определения, скорость процесса, протекающего в кинетической области, выразится уравнением для гомогенной реакции:

$$W = \pm \frac{1}{V} \cdot \frac{dN}{dt},$$

для гетерогенной реакции:

$$W = \pm \frac{1}{F} \cdot \frac{dN}{dt},$$

где: N – число образовавшихся или прореагировавших молей;

V – объем, занимаемый реагирующими веществами, объем фазы;

F – поверхность контакта фаз; t – время.

Скорость можно выразить как производную от концентрации реагирующего вещества по времени (при постоянном объеме системы)

$$W = \pm \frac{dC}{dt}.$$

Преобразовывая кинетические уравнения для простых реакций разных порядков (деля переменные и интегрируя) получим уравнения для реакций разных порядков позволяющие определить константы скоростей.

Уравнение реакции первого порядка:

$$K = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{a}{a-x}$$

Уравнение реакции второго порядка:

$$K = \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{a-b} \cdot \ln \frac{(a-x)b}{a(b-x)}$$

Уравнение реакции третьего порядка:

$$K = \frac{1}{2t} \left[\frac{1}{(a-x)^2} - \frac{1}{a^2} \right],$$

где: a – начальное число молей первого реагента; b – начальное число молей второго реагента; x – число молей, которое прореагировало к моменту t . Кинетическое уравнение, выражающее механизм реакции имеет вид:



$$W = K [A]^m [B]^n.$$

Зависимость константы скорости химической реакции от температуры определяется уравнением Аррениуса:

$$K = K_0 e^{-E/RT}$$

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задача 1. Синтез аммиака осуществляется в колонне под давлением 30 МПа при 450°C. Газ, выходящий из колонны, имеет состав [% (об.)]: NH₃-17,0; N₂- 11,0; H₂ -72,0. Рассчитать соотношение N₂ и H₂ в исходном газе, поступающем в колонну синтеза.

Задача 2. При окислении оксида серы(IV) в оксид серы(VI) в производстве серной кислоты по контактному способу в фор контактный аппарат поступает сернистый газ состава [% (об.)]: SO₂-11; O₂-10; N₂ - 79. Процесс окисления осуществляется при $t = 570^\circ\text{C}$ и $P = 1200$ кПа, Степень окисления 70%. Рассчитать состав окисленного газа и значение константы равновесия: $K_p^{0,5} = p\text{SO}_2 / (p\text{SO}_2 \cdot p\text{O}_2^{0,5})$

Повышенный уровень

Задача 1. При конверсии оксида углерода(II) с водяным паром по реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ значение константы равновесия $K_c = \frac{[\text{CO}_2]}{([\text{CO}] [\text{H}_2\text{O}])} = 1$. Определить равновесный состав газа, если в исходной смеси на 1 моль CO приходится 2 моль H₂O.

Задача 2. В процессе прямой гидратации этилена на фосфорном катализаторе (в производстве этанола) при $t = 300^\circ\text{C}$ и $P = 8$ МПа 10% (об.) этилена превращается в этанол. Найти состав газа и условную константу равновесия, пренебрегая побочными реакциями

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампи, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампи. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф:

- Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 11. РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ, КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель занятия: Расчет энергии активации, констант скоростей различных процессов

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Современный промышленный катализ базируется на большом ассортименте различных каталитических систем, который используют почти в 90% процессов химической технологии в странах Европы и США, и при этом получают до 30% национального дохода, т.е. катализ остается главным методом получения химических веществ. Поэтому в документах, определяющих перспективные направления исследований, ведущее место отводится катализу

Теоретическая часть

Влияние температуры на константу скорости реакции

Константа скорости реакции есть функция от температуры; повышение температуры, как правило, увеличивает константу скорости. Первая попытка учесть влияние температуры была сделана [Я. Г. Вант-Гоффом](#), который сформулировал следующее эмпирическое правило:

При повышении температуры на каждые 10 градусов константа скорости элементарной химической реакции увеличивается в 2 – 4 раза.

Величина, показывающая, во сколько раз увеличивается константа скорости при повышении температуры на 10 градусов, есть *температурный коэффициент константы скорости реакции* γ . Математически правило Вант-Гоффа можно записать следующим образом:

$$\gamma = \frac{k_{T+10}}{k_T}$$

$$k_{T_2} = k_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

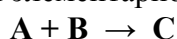
Однако правило Вант-Гоффа применимо лишь в узком температурном интервале, поскольку температурный коэффициент скорости реакции γ сам является функцией от температуры; при очень высоких и очень низких температурах γ становится равным единице (т.е. скорость химической реакции перестает зависеть от температуры).

Уравнение Аррениуса

Очевидно, что взаимодействие частиц осуществляется при их столкновениях; однако число столкновений молекул очень велико и, если бы каждое столкновение приводило к химическому взаимодействию частиц, все реакции протекали бы практически мгновенно. [С. Аррениус](#) постулировал, что столкновения молекул будут эффективны (т.е. будут приводить к реакции) только в том случае, если сталкивающиеся молекулы обладают некоторым запасом энергии – энергией активации.

Энергия активации есть минимальная энергия, которой должны обладать молекулы, чтобы их столкновение могло привести к химическому взаимодействию.

Рассмотрим путь некоторой элементарной реакции



Поскольку химическое взаимодействие частиц связано с разрывом старых химических связей и образованием новых, считается, что всякая элементарная реакция проходит через образование некоторого неустойчивого промежуточного соединения, называемого активированным комплексом:



Образование активированного комплекса всегда требует затраты некоторого количества энергии, что вызвано, во-первых, отталкиванием электронных оболочек и атомных ядер при сближении частиц и, во-вторых, необходимостью построения определенной пространственной конфигурации атомов в активированном комплексе и перераспределения электронной плотности. Таким образом, по пути из начального состояния в конечное система должна преодолеть своего рода энергетический барьер. Энергия активации реакции приближённо равна превышению средней энергии активированного комплекса над средним уровнем энергии реагентов. Очевидно, что если прямая реакция является экзотермической, то энергия активации обратной реакции E'_A выше, нежели энергия активации прямой реакции E_A . Энергии активации прямой и обратной реакции связаны друг с другом через изменение внутренней энергии в ходе реакции. Вышесказанное можно проиллюстрировать с помощью энергетической диаграммы химической реакции (рис. 6.1).

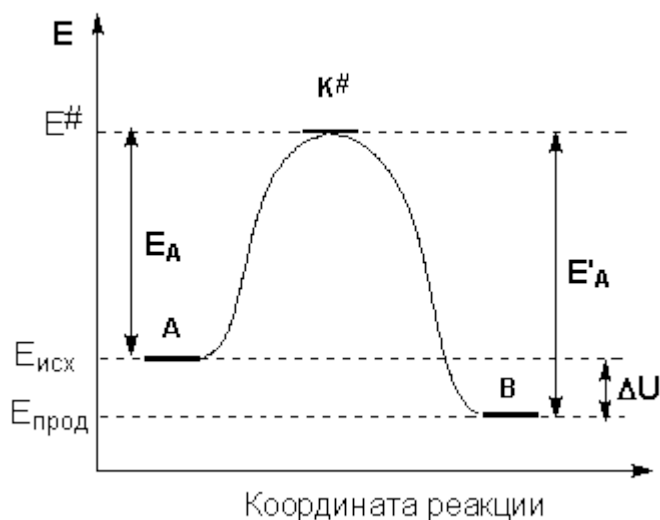


Рисунок 6.1 Энергетическая диаграмма химической реакции.

$E_{исх}$ – средняя энергия частиц исходных веществ,

$E_{прод}$ – средняя энергия частиц продуктов реакции

Поскольку температура есть мера средней кинетической энергии частиц, повышение температуры приводит к увеличению доли частиц, энергия которых равна или больше энергии активации, что приводит к увеличению константы скорости реакции (рис.6.2):

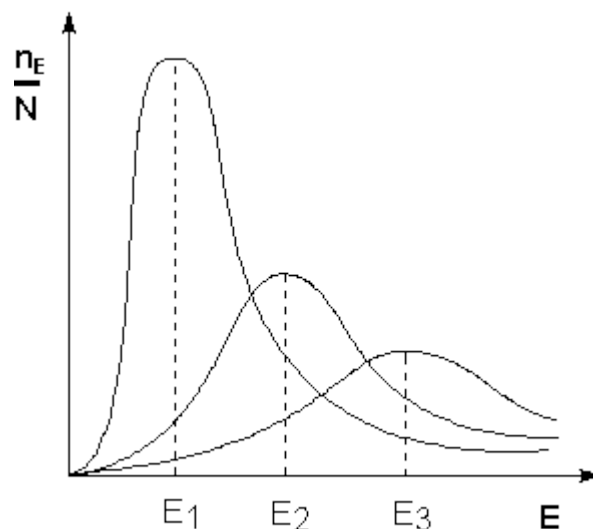


Рисунок 6.2 – Распределение частиц по энергии
 Здесь nE/N – доля частиц, обладающих энергией E ;
 E_i – средняя энергия частиц при температуре T_i ($T_1 < T_2 < T_3$)

Рассмотрим термодинамический вывод выражения, описывающего зависимость константы скорости реакции от температуры и величины энергии активации – *уравнения Аррениуса*. Согласно уравнению изобары Вант-Гоффа,

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$$

Поскольку константа равновесия есть отношение констант скоростей прямой и обратной реакции, можно переписать выражение (II.31) следующим образом:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{d \ln k_1}{dT} - \frac{d \ln k_2}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$$

Представив изменение энтальпии реакции ΔH° в виде разности двух величин E_1 и E_2 , получаем:

$$\begin{aligned} \frac{d \ln k_1}{dT} &= \frac{E_1}{RT^2} + C \\ \frac{d \ln k_2}{dT} &= \frac{E_2}{RT^2} + C \end{aligned}$$

Здесь C – некоторая константа. Постулировав, что $C = 0$, получаем уравнение Аррениуса, где E_A – энергия активации:

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_A}{RT^2}$$

После неопределенного интегрирования получим уравнение Аррениуса в интегральной форме:

$$\begin{aligned} \ln k &= \ln A - \frac{E_A}{RT} \\ k &= A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \end{aligned}$$

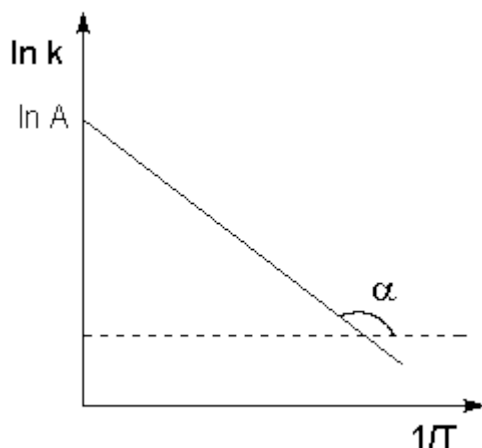


Рисунок 6.3 – Зависимость логарифма константы скорости химической реакции от обратной температуры.

Здесь A – постоянная интегрирования. Нетрудно показать физический смысл предэкспоненциального множителя A , который равен константе скорости реакции при температуре, стремящейся к бесконечности. Логарифм константы скорости линейно зависит от обратной температуры (рисунок 6.3); величину энергии активации E_A и логарифм предэкспоненциального множителя A можно определить графически (тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс и отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_A}{R}$$

Зная энергию активации реакции и константу скорости при какой-либо температуре T_1 , по уравнению Аррениуса можно рассчитать величину константы скорости при любой температуре T_2 :

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Вопросы и задания:

Задача 1. Определить энергию активации, реакции окисления диоксида серы до триоксида на ванадиевом катализаторе, если значения константы скорости процесса имеют следующие значения:

$T, ^\circ\text{C}$	455	470	490
K, c^{-1}	6,5	12,5	25,5

Решение

Если при T_1 константа скорости реакции равна K_1 , а при T_2 константа скорости равна K_2 , то отношение констант скоростей: $\frac{K_1}{K_2} = e^{E/R(1/T_2 - 1/T_1)}$

$$\ln \frac{K_1}{K_2} = \frac{E}{R} (1/T_2 - 1/T_1);$$

$$E = \frac{19,1 \cdot T_1 T_2}{T_1 - T_2} \lg \frac{K_1}{K_2};$$

$$E_1 = \frac{19,1 \cdot T_1 T_2}{T_2 - T_1} \lg \frac{K_2}{K_1} = \frac{19,1 \cdot 728 \cdot 743}{743 - 728} \cdot \lg \frac{12,5}{6,5} = 195603 \text{ кДж/кмоль}$$

$$E_2 = \frac{19,1 \cdot T_1 T_3}{T_3 - T_1} \lg \frac{K_3}{K_1} = \frac{19,1 \cdot 728 \cdot 763}{763 - 728} \cdot \lg \frac{25,5}{6,5} = 179934,8 \text{ кДж/кмоль}$$

$$E_3 = \frac{19,1 \cdot T_2 T_3}{T_3 - T_2} \lg \frac{K_3}{K_2} = \frac{19,1 \cdot 743 \cdot 763}{763 - 743} \cdot \lg \frac{25,5}{12,5} = 167616,9 \text{ кДж/кмоль}$$

$$E_3 = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} = 181051,6 \text{ кДж/кмоль.}$$

Базовый уровень

Задача 1. Значение константы скорости реакции окисления диоксида серы до триоксида, при температуре 680°C равно $K = 7,18 \text{ с}^{-1}$. Найти константу скорости реакции при температуре 650°C, если энергия активации реакции на железооксидном катализаторе равна 184000 кДж/кмоль.

Задача 2. Вещества А и В вступают между собой в химическое взаимодействие. Определить порядок реакции, пользуясь следующими данными:

τ , мин.....	0,0	10,0	30,0
X, % прореагировавших веществ...	20,0	40,0	70,0

Повышенный уровень

Задача 1. Значение константы скорости реакции окисления диоксида серы до триоксида, при температуре 678°C равно $K = 7,0 \text{ с}^{-1}$. Найти константу скорости реакции при температуре 655°C, если энергия активации реакции на железооксидном катализаторе равна 184000 кДж/кмоль.

Задача 2. Пользуясь уравнением Аррениуса, оцените, при каких температурах и энергиях активации справедливо правило Вант-Гоффа.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов. рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования <http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 12. РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ, КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: Расчет энергии активации, констант скоростей различных процессов
Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Современный промышленный катализ базируется на большом ассортименте различных каталитических систем, который используют почти в 90% процессов химической технологии в странах Европы и США, и при этом получают до 30% национального дохода, т.е. катализ остается главным методом получения химических

веществ. Поэтому в документах, определяющих перспективные направления исследований, ведущее место отводится катализу

Теоретическая часть

Влияние температуры на константу скорости реакции

Константа скорости реакции есть функция от температуры; повышение температуры, как правило, увеличивает константу скорости. Первая попытка учесть влияние температуры была сделана [Я. Г. Вант-Гоффом](#), который сформулировал следующее эмпирическое правило:

При повышении температуры на каждые 10 градусов константа скорости элементарной химической реакции увеличивается в 2 – 4 раза.

Величина, показывающая, во сколько раз увеличивается константа скорости при повышении температуры на 10 градусов, есть *температурный коэффициент константы скорости реакции* γ . Математически правило Вант-Гоффа можно записать следующим образом:

$$\gamma = \frac{k_{T+10}}{k_T}$$
$$k_{T_2} = k_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Однако правило Вант-Гоффа применимо лишь в узком температурном интервале, поскольку температурный коэффициент скорости реакции γ сам является функцией от температуры; при очень высоких и очень низких температурах γ становится равным единице (т.е. скорость химической реакции перестает зависеть от температуры).

Уравнение Аррениуса

Очевидно, что взаимодействие частиц осуществляется при их столкновениях; однако число столкновений молекул очень велико и, если бы каждое столкновение приводило к химическому взаимодействию частиц, все реакции протекали бы практически мгновенно. [С. Аррениус](#) постулировал, что столкновения молекул будут эффективны (т.е. будут приводить к реакции) только в том случае, если сталкивающиеся молекулы обладают некоторым запасом энергии – энергией активации.

Энергия активации есть минимальная энергия, которой должны обладать молекулы, чтобы их столкновение могло привести к химическому взаимодействию.

Рассмотрим путь некоторой элементарной реакции



Поскольку химическое взаимодействие частиц связано с разрывом старых химических связей и образованием новых, считается, что всякая элементарная реакция проходит через образование некоторого неустойчивого промежуточного соединения, называемого активированным комплексом:



Образование активированного комплекса всегда требует затраты некоторого количества энергии, что вызвано, во-первых, отталкиванием электронных оболочек и атомных ядер при сближении частиц и, во-вторых, необходимостью построения определенной пространственной конфигурации атомов в активированном комплексе и перераспределения электронной плотности. Таким образом, по пути из начального состояния в конечное система должна преодолеть своего рода энергетический барьер. Энергия активации реакции приближенно равна превышению средней энергии активированного комплекса над средним уровнем энергии реагентов. Очевидно, что если прямая реакция является экзотермической, то энергия активации обратной реакции E'_A выше, нежели энергия активации прямой реакции E_A . Энергии активации

прямой и обратной реакции связаны друг с другом через изменение внутренней энергии в ходе реакции. Вышесказанное можно проиллюстрировать с помощью энергетической диаграммы химической реакции (рис. 6.1).

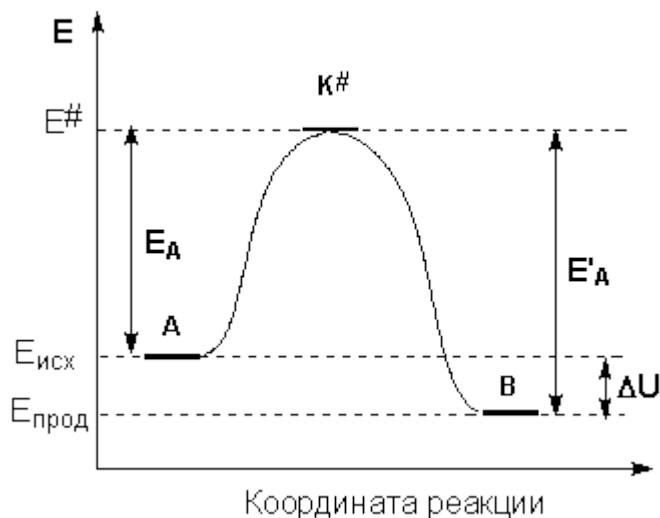


Рисунок 6.1 Энергетическая диаграмма химической реакции.
 $E_{исх}$ – средняя энергия частиц исходных веществ,
 $E_{прод}$ – средняя энергия частиц продуктов реакции

Поскольку температура есть мера средней кинетической энергии частиц, повышение температуры приводит к увеличению доли частиц, энергия которых равна или больше энергии активации, что приводит к увеличению константы скорости реакции (рис.6.2):

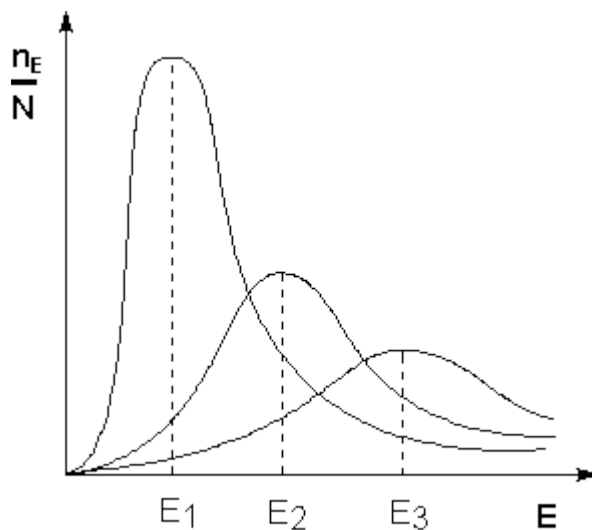


Рисунок 6.2 – Распределение частиц по энергии
 Здесь n_E/N – доля частиц, обладающих энергией E;
 E_i – средняя энергия частиц при температуре T_i ($T_1 < T_2 < T_3$)

Рассмотрим термодинамический вывод выражения, описывающего зависимость константы скорости реакции от температуры и величины энергии активации – *уравнения Аррениуса*. Согласно уравнению изобары Вант-Гоффа,

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$$

Поскольку константа равновесия есть отношение констант скоростей прямой и обратной реакции, можно переписать выражение (II.31) следующим образом:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{d \ln k_1}{dT} - \frac{d \ln k_2}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$$

Представив изменение энтальпии реакции ΔH° в виде разности двух величин E_1 и E_2 , получаем:

$$\frac{d \ln k_1}{dT} = \frac{E_1}{RT^2} + C$$

$$\frac{d \ln k_2}{dT} = \frac{E_2}{RT^2} + C$$

Здесь C – некоторая константа. Постулировав, что $C = 0$, получаем уравнение Аррениуса, где E_A – энергия активации:

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_A}{RT^2}$$

После неопределенного интегрирования получим уравнение Аррениуса в интегральной форме:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{RT}$$

$$k = A \exp\left(\frac{E_A}{RT}\right)$$

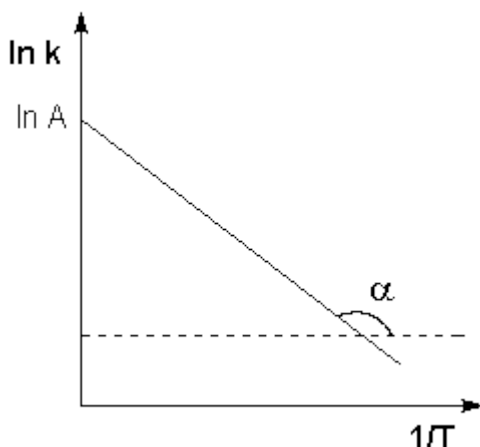


Рисунок 6.3 – Зависимость логарифма константы скорости химической реакции от обратной температуры.

Здесь A – постоянная интегрирования. Нетрудно показать физический смысл предэкспоненциального множителя A , который равен константе скорости реакции при температуре, стремящейся к бесконечности. Логарифм константы скорости линейно зависит от обратной температуры (рисунок 6.3); величину энергии активации E_A и логарифм предэкспоненциального множителя A можно определить графически (тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс и отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_A}{R}$$

Зная энергию активации реакции и константу скорости при какой-либо температуре T_1 , по уравнению Аррениуса можно рассчитать величину константы скорости при любой температуре T_2 :

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задача 1. Определить энергию активации, реакции окисления диоксида серы до триоксида на ванадиевом катализаторе, если значения константы скорости процесса имеют следующие значения:

T, °C	450	465	487
K, с ⁻¹	5,9	11,9	25,1

Задача 2. Две параллельные реакции
 $a_1A + b_1B = rR + sS$ (целевая реакция)
 $a_2A + b_2B = yY + zZ$ (побочная реакция)
характеризуются кинетическими уравнениями

$$W_{A \text{ цел}} = k_1 C_A^{0,8} C_B^{1,54}; \quad W_{A \text{ поб}} = k_2 C_A^{1,5} C_B^{0,25}$$

и энергиями активации $E_1 = 45$ кДж/моль, $E_2 = 65$ кДж/моль. Проанализируйте зависимость дифференциальной селективности для такой системы реакций от: а) концентрации реагентов А и В; б) температуры. Какие можно дать рекомендации по выбору технологического режима для этого процесса?

Повышенный уровень

Задача 1. При температуре 773 К константа скорости окисления оксида серы (IV) в оксид серы (VI) $k_1 = 3,20 \cdot 10^5$. Определите константу скорости k_2 этой реакции при температуре 793 К. Энергия активации $E = 87900$ кДж/моль.

Задача 2. Протекает последовательная реакция первого порядка $A \rightarrow R \rightarrow S$. Максимальная концентрация продукта R при температуре 250 °C составляет 0,57 C_{A0} . При какой температуре следует проводить реакции, чтобы $C_{R \text{ MAX}} > C_{A0}$? Энергия активации целевой реакции равна 48000 Дж/моль, побочной - 39000 Дж/моль. При этом предэкспоненциальные множители в выражениях для констант скоростей обеих реакций примерно равны.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампи, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампи. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов. рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524

4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/
Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. -
М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОБРАТИМЫХ, ГЕТЕРОГЕННЫХ, ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ, КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Цель занятия: расчет оптимальных температур обратимой, гетерогенной, экзотермической, каталитической реакции.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию

ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. В последние годы активное развитие получили методы решения задач оптимизации химико-технологических процессов. В частности, получены достаточно общие результаты по определению оптимальных температурных режимов работы химических реакторов.

В то же время вид оптимального температурного режима принципиально зависит от численных значений параметров химических реакций, лежащих в основе процесса. Важнейшими из этих параметров являются энергии активации химических реакций. Численные значения энергий активации определяются в результате решения обратной задачи обработки кинетических измерений. Погрешность в измерениях делает неизбежной погрешность в определении энергиях активации. Возможны ситуации, когда погрешность в значениях энергий активации делает существенно неоднозначным определение оптимального температурного режима.

Актуальна задача - анализ чувствительности оптимального температурного режима к вариации энергий активации в некоторых пределах, определяемых величиной их погрешности. Задачи такого типа решались ранее в случае, когда правая часть систем дифференциальных уравнений химической кинетики выписывается в соответствии с законом действующих масс. Реальная ситуация значительно сложнее, что принципиально усложняет задачу расчета оптимального температурного режима и анализа чувствительности.

Теоретическая часть

Скорость химической реакции является функцией нескольких переменных: температуры и степеней превращения реагентов (или их концентраций). С ростом температуры константа скорости реакции в соответствии с уравнением Аррениуса монотонно возрастает. Принципиальных ограничений повышения температуры с целью увеличения скорости необратимых реакций нет. С ростом степени превращения реагентов скорость реакции падает. Для компенсации этого уменьшения целесообразно увеличивать температуру.

Эндотермическая реакция сопровождается поглощением теплоты. Следовательно, такие реакции невыгодно проводить в адиабатических условиях, так как по мере протекания реакции ее скорость будет падать как из-за увеличения степени превращения, так и из-за уменьшения температуры. Более разумно проводить эндотермические процессы в реакторах с подводом теплоты (изотермических или в реакторах с промежуточным тепловым режимом), поддерживая температуру, максимально допустимую по конструкционным соображениям. Необходимо при этом дополнительно провести оптимизацию температурного режима, сопоставив экономические показатели: увеличение прибыли вследствие роста производительности реактора и возрастания расходов на поддержание высокой температуры.

Для необратимых экзотермических реакций рост степени превращения сопровождается выделением теплоты, и, следовательно, в адиабатическом режиме это приведет к возрастанию температуры реакционной смеси. Уменьшение скорости реакции вследствие увеличения степени превращения будет частично компенсироваться ростом

константы скорости реакции с возрастанием температуры. Проводя такую реакцию в проточном адиабатическом реакторе, можно обеспечить высокую скорость химической реакции и высокую производительность реактора в автотермическом режиме без использования посторонних источников теплоты. При этом теплота реакционной смеси, выходящей из реактора, служит для нагрева исходных реагентов на входе в реактор.

Вопросы и задания:

Задача 1. Окисление SO_2 в SO_3 производится в четырехполочном реакторе на ванадиевом катализаторе. Состав исходного газа в %(об.):

SO_2 a=11; O_2 в=10; N_2 =79. Общая степень превращения $X=0,98$. Принимается следующее распределение степени превращения по полкам реактора:

Слой.....	1	2	3	4
X.....	0,65	0,85	0,95	0,98.

Определить оптимальные температуры в слоях катализатора, на каждой полке.

Решение

Для ванадиевого катализатора ($E=88000\text{кДж/моль}$) реакции каталитического окисления SO_2 в SO_3 имеет второй порядок по основному компоненту, формула для расчета оптимальной температуры будет иметь вид:

$$T_{\text{опт}} = \frac{4905}{lq \frac{X}{(1-x) \sqrt{\frac{b-0,5ax}{100-0,5ax}}} + 4,937}$$

$$T_1 = \frac{4905}{lq \frac{0,65}{(1-0,65) \sqrt{\frac{10-0,5 \cdot 11 \cdot 0,65}{100-0,5 \cdot 11 \cdot 0,65}}} + 4,937} = 829,9 \text{ К}$$

$$T_2 = \frac{4905}{lq \frac{0,85}{(1-0,85) \sqrt{\frac{10-0,5 \cdot 11 \cdot 0,85}{100-0,5 \cdot 11 \cdot 0,85}}} + 4,937} = 776,1 \text{ К}$$

$$T_3 = \frac{4905}{lq \frac{0,95}{(1-0,95) \sqrt{\frac{10-0,5 \cdot 11 \cdot 0,95}{100-0,5 \cdot 11 \cdot 0,95}}} + 4,937} = 714,4 \text{ К}$$

$$T_4 = \frac{4905}{lq \frac{0,98}{(1-0,98) \sqrt{\frac{10-0,5 \cdot 11 \cdot 0,98}{100-0,5 \cdot 11 \cdot 0,98}}} + 4,937} = 673,3 \text{ К}$$

Определяем равновесную степень превращения:

$$X_p = \frac{K_p}{K_p + \sqrt{\frac{100-0,5 \cdot a \cdot X_p}{P(b-0,5 \cdot a \cdot X_p)}}}$$

Константа равновесия для рассматриваемой реакции в интервалах температур 660 – 800 К определится по уравнению:

$$lq K_p = \frac{4905}{T} - 4,64$$

Для первого слоя:

$$lq K_p = \frac{4905}{829,9} - 4,64 = 1,27 \quad K_p = 18,6$$

для второго слоя: 47,9; для третьего: 168,2; для четвертого: 441,6.

Откуда:

$$X_p = \frac{18,6}{18,6 + \sqrt{\frac{100 - 0,5 \cdot 11 \cdot X_p}{10 - 0,5 \cdot 11 \cdot X_p}}}$$

Методом подбора находим $X_p = 0,82$ – первый слой;

$X_p = 0,92$ – второй слой;

$X_p = 0,97$ – третий слой;

$X_p = 0,99$ – четвертый слой.

Результаты расчетов представлены в таблице:

Слой.....	1	2	3	4
X.....	0,65	0,85	0,95	0,98
X _p	0,82	0,92	0,97	0,99
K _p	18,6	47,9	168,2	441,6
Топт, К.....	829,9	776,1	714,4	673,3
Топт, °С.....	556,9	503,1	441,4	364,3.

Базовый уровень

Задача 1. По данным задачи 2 построить оптимальную и равновесные кривые X–T, а также изотермы, отвечающие температурному режиму в каждом слое.

Задача 2. Окисление SO₂ в SO₃ производится в четырехполочном реакторе на ванадиевом катализаторе. Состав исходного газа в %(об.):

SO₂ a=12; O₂ v=10; N₂=78. Общая степень превращения X=0,97. Принимается следующее распределение степени превращения по полкам реактора:

Слой.....	1	2	3	4
X.....	0,68	0,87	0,94	0,97.

Определить оптимальные температуры в слоях катализатора, на каждой полке.

Повышенный уровень

Задача 1. Из условия задачи 2 определить константу равновесия для рассматриваемой реакции SO₂ в SO₃ и рассчитать равновесную степень превращения на каждой полке.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. -

528с. - (Учебники для вузов). - с524

4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/
Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. -
М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОБРАТИМЫХ, ГЕТЕРОГЕННЫХ, ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ, КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: расчет оптимальных температур обратимой, гетерогенной, экзотермической, каталитической реакции.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию

ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. В последние годы активное развитие получили методы решения задач оптимизации химико-технологических процессов. В частности, получены достаточно общие результаты по определению оптимальных температурных режимов работы химических реакторов.

В то же время вид оптимального температурного режима принципиально зависит от численных значений параметров химических реакций, лежащих в основе процесса. Важнейшими из этих параметров являются энергии активации химических реакций. Численные значения энергий активации определяются в результате решения обратной задачи обработки кинетических измерений. Погрешность в измерениях делает неизбежной погрешность в определении энергиях активации. Возможны ситуации, когда погрешность в значениях энергий активации делает существенно неоднозначным определение оптимального температурного режима.

Актуальна задача - анализ чувствительности оптимального температурного режима к вариации энергий активации в некоторых пределах, определяемых величиной их погрешности. Задачи такого типа решались ранее в случае, когда правая часть систем дифференциальных уравнений химической кинетики выписывается в соответствии с законом действующих масс. Реальная ситуация значительно сложнее, что принципиально усложняет задачу расчета оптимального температурного режима и анализа чувствительности.

Теоретическая часть

Скорость химической реакции является функцией нескольких переменных: температуры и степеней превращения реагентов (или их концентраций). С ростом температуры константа скорости реакции в соответствии с уравнением Аррениуса монотонно возрастает. Принципиальных ограничений повышения температуры с целью увеличения скорости необратимых реакций нет. С ростом степени превращения реагентов скорость реакции падает. Для компенсации этого уменьшения целесообразно увеличивать температуру.

Эндотермическая реакция сопровождается поглощением теплоты. Следовательно, такие реакции невыгодно проводить в адиабатических условиях, так как по мере протекания реакции ее скорость будет падать как из-за увеличения степени превращения, так и из-за уменьшения температуры. Более разумно проводить эндотермические процессы в реакторах с подводом теплоты (изотермических или в реакторах с промежуточным тепловым режимом), поддерживая температуру, максимально допустимую по конструкционным соображениям. Необходимо при этом дополнительно провести оптимизацию температурного режима, сопоставив экономические показатели: увеличение прибыли вследствие роста производительности реактора и возрастания расходов на поддержание высокой температуры.

Для необратимых экзотермических реакций рост степени превращения сопровождается выделением теплоты, и, следовательно, в адиабатическом режиме это приведет к возрастанию температуры реакционной смеси. Уменьшение скорости реакции вследствие увеличения степени превращения будет частично компенсироваться ростом

константы скорости реакции с возрастанием температуры. Проводя такую реакцию в проточном адиабатическом реакторе, можно обеспечить высокую скорость химической реакции и высокую производительность реактора в автотермическом режиме без использования посторонних источников теплоты. При этом теплота реакционной смеси, выходящей из реактора, служит для нагрева исходных реагентов на входе в реактор.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

Задача 1. Газовая смесь синтеза аммиака состоит из азота и водорода. Найти отношение H_2 к N_2 , при котором скорость реакции $3H_2 + N_2 = 2NH_3$ будет максимальной.

Задача 2. При $400^\circ C$ скорость химической реакции в 10 раз меньше, чем при $450^\circ C$. Какова энергия активации процесса, если движущая сила не изменилась с изменением температуры?

Повышенный уровень

Задача 1. Рассчитать оптимальную температурную кривую по высоте колонны синтеза метанола из оксида углерода (II) и водорода. Увеличение выхода x метанола составляет от 1 до 5%. Синтез метанола проводится под давлением 30,3 МПа при стехиометрическом отношении компонентов $CO: H_2$, равном 1:2, по реакции: $CO + 2H_2 = CH_3OH$. Энергии активации прямой и обратной реакции соответственно 109000 и 155000 кДж/кмоль. Принимаем, что лимитирующей стадией синтеза метанола является адсорбция водорода на поверхности твердого катализатора (см. гл. VI). Инертные газы составляют 13% (об.).

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов. рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm> - ресурсы портала для общего образования <http://www.school.edu.ru/default.asp> - "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 - Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 4. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 15. РАСЧЕТ РЕАКЦИОННЫХ ОБЪЕМОВ РЕАКТОРОВ

Цель занятия: расчет объема проточного реактора идеального смешения и концентрации реагентов на выходе из реактора.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Математическое моделирование химических процессов и реакторов в настоящее время сформировалось в стройную систему понятий и методов, применение которых позволило решить ряд важных научно-технических проблем при

разработке технологических процессов и аппаратов. Основой производства большинства химических и нефтехимических продуктов является катализ. Несмотря на многообразие и сложность решаемых задач, методология разработки каталитических процессов и реакторов основана на структурированном, иерархическом подходе, суть которого в последовательном решении задач на различных уровнях: кинетическом, зерна и слоя катализатора, реактора, всей химико-технологической схемы в целом. При этом вся полученная информация на предыдущем уровне становится составной частью следующего. Самым первым уровнем моделирования является кинетическая модель. Содержательность кинетической модели зависит от способа ее построения.

Теоретическая часть

Химический реактор - это технологический аппарат, в котором осуществляются химические процессы. Цель - получение заданного продукта с определенным выходом. На эффективность процесса, основой которого является химическая реакция, оказывают влияние разнообразные факторы: температура, давление, условия перемешивания, концентрации реагентов и другие. Поэтому для создания соответствующих условий химические реакторы могут иметь различные конструкции, снабжены перемешивающими и теплообменными устройствами и т.д.

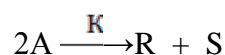
Одной из важнейших задач, возникающих при изучении процессов, протекающих в реакторах, является установление функциональной зависимости времени пребывания реагентов в реакторе от различных факторов. Данную зависимость выражают в виде уравнения, которое называют характеристическим уравнением реактора:

$$\tau = f(x, C_0, r).$$

Характеристическое уравнение составляется на основании материального баланса по одному из компонентов реакционной смеси. В зависимости от типа реактора и режима его работы данное уравнение будет видоизменяться. Следует отметить, что указанное уравнение не учитывает характер теплового режима реактора и влияние температуры на кинетику химической реакции, поэтому для выбора оптимального режима работы реактора уравнение материального баланса решается совместно с уравнением теплового баланса.

Вопросы и задания:

Задача 1. Определите объем проточного реактора идеального смешения, необходимый для достижения степени превращения исходного реагента $X_A = 0,85$ при проведении реакции:



если $C_{A0} = 2,5$ кмоль/м³, $K = 18,2$ м³/(кмоль·ч), реагенты подают в реактор с объемным расходом $v = 1,2$ м³/ч.

Решение

Составим кинетическое уравнение для заданной реакции:

$$W = K \cdot C_A^2$$

$$X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}}$$

$$C_{A0} - C_A = C_{A0} \cdot X_A;$$

отсюда:

$$C_A = C_{A0} (1 - X_A);$$

подставим значение C_A в кинетическое уравнение:

$$W = K \cdot C_A^2 = K \cdot [C_{A0} (1 - X_A)]^2 = 18,2 \cdot [2,5 \cdot (1 - 0,85)]^2 = 2,6 \text{ кмоль/м}^3 \cdot \text{ч}$$

Характеристическое уравнение для проточного реактора идеального смешения имеет вид:

$$\tau = \frac{C_{A0} \cdot X_A}{W}$$

Определим время пребывания реагентов в реакторе:

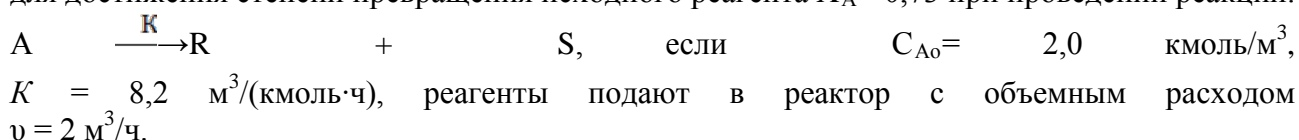
$$\tau = \frac{2,5 \cdot 0,85}{2,6} = 0,82 \text{ ч}$$

Вычислим объем реактора, из условия объемного расхода реагентов и времени пребывания реагентов в реакторе:

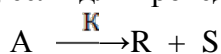
$$V = v \cdot \tau = 1,2 \cdot 0,82 = 0,98 \text{ м}^3.$$

Базовый уровень

Задача 1. Определите объем проточного реактора идеального смешения, необходимый для достижения степени превращения исходного реагента $X_A = 0,73$ при проведении реакции:



Задача 2. Определите концентрацию реагента А на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом $1,5 \text{ м}^3$, если для проведения реакции:



кинетика которой описывается уравнением $W = 2 \cdot C_A$, подают реагент А с начальной концентрацией $C_{A0} = 1,6 \text{ кмоль/м}^3$ и объемным расходом $v = 2,7 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Повышенный уровень

Задача 1. Составьте уравнение материального баланса для стационарного проточного реактора идеального смешения.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов. рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования <http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.

ТЕМА 4. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 16. РАСЧЕТ РЕАКЦИОННЫХ ОБЪЕМОВ РЕАКТОРОВ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Цель занятия: расчет объема проточного реактора идеального смешения и концентрации реагентов на выходе из реактора.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать: основы самоорганизации и самообразования

Знать: основы разработки рабочей, проектной и технической документации, основы оформления законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Знать: методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, основы анализа причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Уметь: самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности

Уметь: разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Уметь: применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Наименование формируемых компетенций

Код	Формулировка
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ПК-6	способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению

Актуальность темы. Математическое моделирование химических процессов и реакторов в настоящее время сформировалось в стройную систему понятий и методов, применение которых позволило решить ряд важных научно-технических проблем при разработке технологических процессов и аппаратов. Основой производства большинства химических и нефтехимических продуктов является катализ. Несмотря на многообразие и сложность решаемых задач, методология разработки каталитических процессов и реакторов основана на структурированном, иерархическом подходе, суть которого в последовательном

решении задач на различных уровнях: кинетическом, зерна и слоя катализатора, реактора, всей химико-технологической схемы в целом. При этом вся полученная информация на предыдущем уровне становится составной частью следующего. Самым первым уровнем моделирования является кинетическая модель. Содержательность кинетической модели зависит от способа ее построения.

Теоретическая часть

Химический реактор - это технологический аппарат, в котором осуществляются химические процессы. Цель - получение заданного продукта с определенным выходом. На эффективность процесса, основой которого является химическая реакция, оказывают влияние разнообразные факторы: температура, давление, условия перемешивания, концентрации реагентов и другие. Поэтому для создания соответствующих условий химические реакторы могут иметь различные конструкции, снабжены перемешивающими и теплообменными устройствами и т.д.

Одной из важнейших задач, возникающих при изучении процессов, протекающих в реакторах, является установление функциональной зависимости времени пребывания реагентов в реакторе от различных факторов. Данную зависимость выражают в виде уравнения, которое называют характеристическим уравнением реактора:

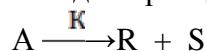
$$\tau = f(x, C_0, r).$$

Характеристическое уравнение составляется на основании материального баланса по одному из компонентов реакционной смеси. В зависимости от типа реактора и режима его работы данное уравнение будет видоизменяться. Следует отметить, что указанное уравнение не учитывает характер теплового режима реактора и влияние температуры на кинетику химической реакции, поэтому для выбора оптимального режима работы реактора уравнение материального баланса решается совместно с уравнением теплового баланса.

Вопросы и задания:

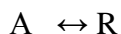
Базовый уровень

Задача 1. Определите концентрацию реагента А на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом $1,2 \text{ м}^3$, если для проведения реакции:



кинетику которой описывает уравнением $W = 3 \cdot C_A$, подают реагент А с начальной концентрацией $C_{A0} = 1,5 \text{ кмоль/м}^3$ и объемным расходом $v = 3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Задача 2. Определите объем реактора смешения периодического для проведения обратимой реакции:



с целью достижения степени превращения, составляющей 80% равновесной, если $K_1 = 0,15 \text{ ч}^{-1}$, $K_2 = 0,2 \text{ ч}^{-1}$, объемный расход $v = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Повышенный уровень

Задача 1. Газ, выходящий из реактора окисления аммиака, быстро охлаждают для конденсации из него основной части водяных паров. Газ содержит [% (мол.)]: $\text{NO} - 9$; $\text{NO}_2 - 1$; $\text{O}_2 - 8$. До поступления на абсорбционные колонны, где получается азотная кислота, газ окисляется до отношения $\text{NO}_2 : \text{NO}$, равного 5:1. Расход газа на входе в реактор $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление газа $0,1 \text{ МПа}$. Рассчитать объем реактора вытеснения, необходимый для достижения указанной цели, в предположении, что охлаждение является достаточно эффективным для поддержания постоянной температуры реакционной смеси на уровне 20°C .

Задача 2. Уксусный ангидрид подвергают гидролизу в реакторе с мешалкой, работающем в режиме полного смешения. Концентрация уксусного ангидрида в исходной смеси $C_{Нач} = 0,3$ моль/л. Степень превращения (по отношению к исходной смеси) $x_{Кон} = 0,7$. Объемный расход жидкости постоянен $V_{См} = 20$ л/мин. Процесс идет при большом избытке воды. Константа скорости гидролиза $k = 0,38$ мин⁻¹. Определить: 1) объем единичного реактора смешения, обеспечивающий заданную степень превращения; 2) реакционный объем, требующийся для проведения того же процесса при тех же условиях в реакторе идеального вытеснения; 3) число ступеней, т. е. единичных реакторов смешения, требующихся для того, чтобы общий реакционный объем приближался к объему реактора вытеснения.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; под ред. Х. Э. Харлампики. - 2-е изд, перераб. - Санкт-Петербург : Лань ; Москва ; Краснодар, 2013. - 447 с. : ил., табл. ; 25 см. - ISBN 978-5-8114-1478-9

Дополнительная литература:

- 1 Кондауров, Б. П. Общая химическая технология : [Учеб. пособ] / Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемов. - М. : Академия, 2005. - 336 с. - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Библиогр.: с. 328-328. - ISBN 5-7695-1792-1
- 2 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. - 10-е изд., испр. и доп. - СПб. : Химия, 2003. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 225-230. - ISBN 5-8194-0071-2
- 3 Кутепов, А.М.Общая химическая технология: Учебник для вузов.рек.МО РФ./ Т.И.Бондарева, М.Г.Беренгартен. - 3-е изд., перераб. - М:ИКЦ Академкнига,2003. - 528с. - (Учебники для вузов). - с524
- 4 Химическая технология неорганических веществ: Учеб.пособие.Рек.МО. Т.1/ Под.ред.Т.Г.Ахметова, Р.Т.Порфирьева, Л.Г.Гайсин, Л.Т.Ахметова. - М:Высш.шк.,2002. - 688с.:ил. - с686

Интернет-ресурсы:

- 1 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"
- 2 http://www.edu.ru/index.php?page_id=6 Федеральный портал Российское образование.