

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ



Заместитель директора по УР  
Н.И. Никифорова  
04 2021 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине

**Б1.О.25 Теория химико-технологических процессов**

**18.03.01 «Химическая технология»**

Профили подготовки: «Химическая технология органических веществ»,  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»  
«Химическая технология высокомолекулярных соединений»

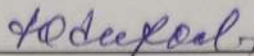
бакалавр  
квалификация

очная, очно-заочная, заочная  
форма обучения

Нижекамск, 2021 г.

Составитель ФОС:

Доцент кафедры НХС



Ю.Н. Чиркова

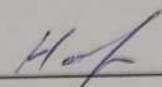
ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры НХС, протокол от  
24.03.2021 г. № 3

Зав. кафедрой НХС



Т.Б. Минигалиев

Ответственный за ООП, разработчик



А.И. Новожилова

**Перечень компетенций с указанием уровней их формирования**

<b>Индекс компетенции</b>	<b>Содержание компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>				<b>Наименование оценочного средства</b>
		<b>Лекции</b>	<b>Практические занятия</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Курсовой проект (работа)</b>	
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию	<i>Раздел 1-5 Темы 1-16</i>	-	<i>Раздел 1-5 Темы 1-9</i>	<i>Раздел 1-5 Темы 1,2, 4,5-8,11, 14-16</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, доклад, экзамен
ОПК -1	способностью и готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	<i>Раздел 1-4</i>	-	<i>Раздел 1-5 Темы 1, 4-7</i>	<i>Раздел 1-4 Темы 1,2, 6-8, 11</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, экзамен
ОПК-2	готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы	<i>Раздел 1-5 Темы 1-16</i>	-	<i>Раздел 1-5 Темы 1, 4-7, 9</i>	<i>Раздел 1-5 Темы 1,2, 6-8, 11, 15-16</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, экзамен
ОПК-3	готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире.	<i>Раздел 1-5 Темы 1-16</i>	-	<i>Раздел 1-5 Темы 1-9</i>	<i>Раздел 1-5 Темы 1,2, 4,6-8,11, 14-16</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, экзамен

**Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины**

Компетенции:

ОПК-4 Способен обеспечивать проведение технологического процесса, использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, осуществлять изменение параметров технологического процесса при изменении свойств сырья

ОПК-4.1 Знает процессы химической технологии, аппараты и методы их расчета, основные понятия управления технологическими процессами, методы оптимизации химико-технологических процессов, методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса

ОПК-4.2 Умеет подбирать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса, оценивать технологическую эффективность производства, применять методы вычислительной математики и математической статистики для моделирования и оптимизации химико-технологических процессов

ОПК-4.3 Владеет навыками технологических расчетов, определения технологических показателей процесса, управления химико-технологическими системами и методами регулирования химико-технологических процессов

<b>Индикаторы достижения компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>				<b>Наименование оценочного средства</b>
	<b>Лекции</b>	<b>Практические занятия</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Курсовой проект (работа)</b>	
ОПК-4.1	<i>Раздел 1-5 Темы 1-16</i>	<i>Раздел 1-5 Темы 1-9</i>	<i>не предусмотрены</i>	<i>не предусмотрен</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, доклад, экзамен
ОПК-4.2	<i>Раздел 1-4</i>	<i>Раздел 1-5 Темы 1-9</i>	<i>не предусмотрены</i>	<i>не предусмотрен</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, экзамен
ОПК-4.3	<i>Раздел 1-5 Темы 1-16</i>	<i>Раздел 1-5 Темы 1- 9</i>	<i>не предусмотрены</i>	<i>не предусмотрен</i>	Лабораторные работы, работы в малых группах, Контрольные работы, РГР, экзамен

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

**Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)**  
**Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»**

Оценочные средства	Кол-во			Баллы (min-max)		
Мероприятия текущего контроля	очная	очно-заочная	заочная /заоч. ВО(ХТОВ)	очная	очно-заочная	заочная /заоч. ВО(ХТОВ)
	семестр			семестр		
	III	IV	IV / III	III	IV	IV / III
Лабораторные занятия	2	2	1/1	27-45	27-45	11-18 /11-18
Работа в малых группах 1	1	1	1/1	12-20	12-20	3-5
Контрольная работа №1	1	1	1/1	12-20	12-20	21-35
РГР-1	1	1	-/-	9-15	9-15	-/-
Конт-я работа для заочной ф.о.№1			1/1	-	-	25-42 /25-42
ИТОГО				60-100		
	очная	очно-заочная	заочная /заоч. ВО(ХТОВ)	очная	очно-заочная	заочная /заоч. ВО(ХТОВ)
	семестр			семестр		
	IV	V	V / IV	IV	V	V / IV
Лабораторные занятия	2	2	2/2/	12-20	12-20	9-15 /9-15
Контрольная работа №2	1	1	-/-	12-20	12-20	-/-
Контрольная работа для заочной ф.о.№2	-	-	1/1	-	-	24-40 /24-40
Доклад	1	1	-/-	6-10	6-10	-/-
Работа в малых группах 2	1	1	1/1	6-10	6-10	3-5/3-5
Экзамен				24-40	24-40	24-40 /24-40
ИТОГО				100		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический  
Кафедра нефтехимического синтеза*

**Комплект заданий для лабораторных занятий**  
по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»

**Семестр 3(очная ф.о.), 4(очно-заочная, заочная ф.о.)**

**Раздел: 1.**

**Практическая работа «Технологические критерии эффективности ХТП»**

**Задача 1.**

Определить какое количество моль вещества содержится:

а) 28 г. натрия \_\_\_\_\_ б) 40 кг  $\text{H}_2\text{SO}_4$  \_\_\_\_\_ в) 100 кг олефина с числом атомов углерода 6 \_\_\_\_\_

**Задача 2.**

Определить массу:

а) 10 кмоль азота \_\_\_\_\_ б) 24 моль  $\text{HClO}_4$  \_\_\_\_\_ в) 45 кмоль парафина с числом атома углерода 8 \_\_\_\_\_

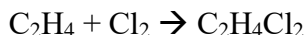
**Задача 3.**

Определить какое количество исходного вещества вступит в реакцию и образуется продуктов, если на реакцию хлорирования бензола подано 100 кг хлора и 250 кг бензола:



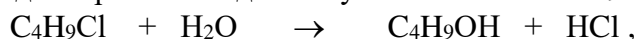
**Задача 4.**

На реакцию хлорирования этилена подается 56 кг этилена и 71 кг хлора. Технический хлор содержит 2% масс. азота (примесь), технический этилен содержит 5% об. этана. Определить количество образующегося дихлорэтана, степень превращения этилена, расходные коэффициенты по сырью.



**Задача 5.**

Рассчитайте массы исходных реагентов для получения 650 кг  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$  по реакции:



если конверсия  $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$  равна 0,7, при условии двукратного избытка  $\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте расходные коэффициенты по сырью;

**Задача 6.**

Составьте материальный баланс процесса, если требуется получить 750 кг  $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ :



Рассчитайте необходимое количество  $C_4H_{10}$ , если он подается с содержанием примесей в количестве 15 масс. и  $Cl_2$  с содержанием основного вещества 90 % масс. Рассчитайте расходные коэффициенты по сырью.

## Раздел 2: Материальный баланс ХТП.

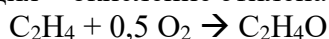
### Задача 7.

На реакцию каталитического окисления подано 100 кг технического этилена, его степень превращения 13%, при этом образовалось 3 кг ацетальдегида. Технический этилен содержит 97% этилена, 3% этана. Определить: объем поданного воздуха, если принять, что в воздухе содержится 21% кислорода, остальное азот; селективность процесса и выход целевого продукта, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – окисление этилена в этиленоксид:



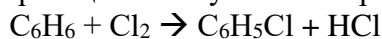
Побочная реакция – окисление этилена в ацетальдегид:



### Задача 8.

При хлорировании бензола, образуется 300 кг хлорбензола. Селективность процесса 97%. Мольное соотношение исходной смеси бензол: хлор равно 3:1. Технический бензол содержит 98% масс. основного вещества; технический хлор содержит 3% масс. примесей. Определить: количество образующегося дихлорбензола; степень превращения бензола; расходные коэффициенты по сырью. Предложить мероприятия по снижению расходных коэффициентов.

Целевая реакция – получение хлорбензола:



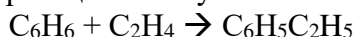
Побочная реакция – получение дихлорбензола:



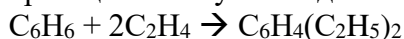
### Задача 9.

При алкилировании бензола этиленом образуется 1000 кг этилбензола и 15 кг диэтилбензола. Для увеличения селективности бензол подается в трехкратном избытке от стехиометрически необходимого. Степень чистоты бензола 98,5% масс. в этилене содержится 2% об. этана. Определить: степень превращения бензола и селективность по бензолу; расходные коэффициенты по сырью. Составить материальный баланс процесса.

Целевая реакция – получение этилбензола:



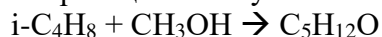
Побочная реакция – получение диэтилбензола:



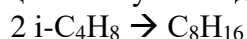
### Задача 10.

При алкилировании метанола изобутиленом образуется 740 кг метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Расходный коэффициент изобутилена 0,9 кг на 1 кг МТБЭ, степень превращения изобутилена равна 1. Определить: количество превращенного метанола; образовавшихся димеров; селективность процесса, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение МТБЭ:



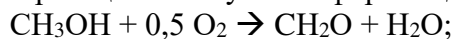
Побочная реакция - получение диизобутилена:



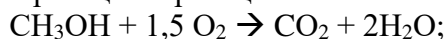
### Задача 11.

При каталитическом окислении метанола кислородом воздуха на серебряном катализаторе образуется 300 кг формальдегида. Селективность процесса 80%, степень превращения метанола 90%. Технический метанол содержит 10% диметилового эфира. Определить: количество подаваемого воздуха; количество исходных веществ и продуктов реакции; расходные коэффициенты по сырью; предложить мероприятия по снижению расходных коэффициентов (обосновать).

Целевая реакция – получение формальдегида:



Побочная реакция – реакция полного окисления:



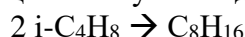
#### Задача 12.

При гидратации изобутилена образуется 120 кг триметилкарбинола. Селективность процесса 98%, конверсия изобутилена 99%. Мольное соотношение изобутилен: вода равно 1:2. Определить: количество превращенной воды; расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение ТМК:



Побочная реакция - получение диизобутилена:



#### Задача 13.

При гидратации окиси этилена образуется 250 кг этиленгликоля. Селективность превращения окиси этилена в моноэтиленгликоль 98%, степень превращения окиси этилена 1. Мольное соотношение окись этилена: вода равно 1:18. Составить мольный и массовый материальный баланс; определить расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение МЭГ:



Побочная реакция – получение ДЭГ:



#### Задача 14.

При дегидратации метилфенилкарбинола образуется 1500 кг стирола. Селективность процесса 0,83, конверсия метилфенилкарбинола 71%. С целью увеличения выхода целевого продукта на стадию химического превращения исходное сырье подается в смеси с водяным паром. Массовое соотношение МФК: водяной пар 1:4. Составить мольный и массовый материальный баланс. Определить: количество превращенной воды; расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение стирола:



Побочная реакция – получение ацетофенона:



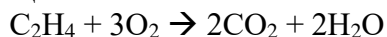
#### Задача 15.

На реакцию каталитического окисления подано 15 000 кг/ч технического этилена, его степень превращения 13%, при этом образовалось 1200 кг/ч ацетальдегида. Технический этилен содержит, % масс: этилена- 98, этана- 2. Определить: объем поданного воздуха, если принять, что в воздухе содержится 20% кислорода, остальное азот; селективность процесса и выход целевого продукта, расходные коэффициенты по сырью. Составить мольный и массовый материальный баланс.

Целевая реакция – окисление этилена в этиленоксид:



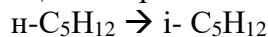
Побочная реакция – окисление этилена в ацетальдегид:



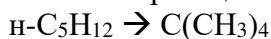
#### Задача 16.

Мощность процесса изомеризации н-пентана 90 т.т. в год по изопентану. Эффективный фонд рабочего времени 8400 часов. Селективность процесса 96%, конверсия -79%. Потери процесса составляют 3%. Составить мольный и массовый материальные балансы процесса.

Целевая реакция:



Побочная реакция:



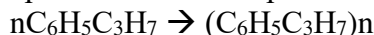
### Задача 17.

В процессе каталитического дегидрирования кумола пропускная способность по сырью 200 т/сут. Селективность процесса 0,87, конверсия кумола 78%. Определить расходные коэффициенты по сырью. Составить мольный и массовый материальный баланс.

Целевая реакция – получение  $\alpha$ -метилстирола:



Побочная реакция – полимеризация стирола:



### Задача 18.

На реакцию каталитического окисления подано 1500 кг технического этилена, его степень превращения 15%, при этом образовалось 60 кг побочных продуктов, мольное соотношение ацетальдегида к  $\text{CO}_2 = 10:1$ . Технический этилен содержит 97% этилена, 3% этана. Определить: объем поданного воздуха, если принять, что в воздухе содержится 21% кислорода, остальное азот; селективность процесса и выход целевого продукта, расходные коэффициенты по сырью.

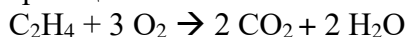
Целевая реакция – окисление этилена в этиленоксид:



Побочная реакция – окисление этилена в ацетальдегид:



Побочная реакция – полное окисление этилена:



### Критерии оценки:

	очная ф.о. III семестр		очно-заочная ф.о. IV семестр		заочная / /з. ВО ф.о. IV/ III семестр	
	№ Задачи	баллы min-max	Задачи	баллы min-max	Задачи	баллы min-max
Практическая работа 1	1-6	12-20	1-3	12-20	2-3	5,5-9
Практическая работа 2	7-18	15-25	7-12	15-25	7-8	5,5-9
ИТОГО:		27-45		27-45		11-18

Баллы снижаются при наличии недочетов и ошибок.

### Семестр 5(очная ф.о.), 6(очно-заочная, заочная ф.о.)

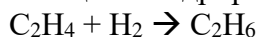
#### Раздел 3.

#### Практическая работа «Термодинамический анализ ХТП»

##### Задача 19.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру. Метод Темкина-Шварцмана.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
  - при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – гидрирование этилена:

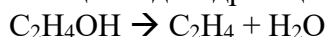


Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

**Задача 20.**

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
  - при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидратации этанола:

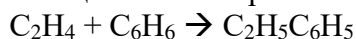


Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом.

**Задача 21.**

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
  - при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования бензола этиленом:

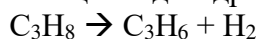


Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

**Задача 22.**

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 400, 500, 700 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
  - при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидрирования пропана:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

### Задача 23.

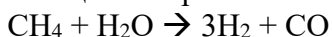
1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 550, 750, 1100 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – паровая конверсия метана:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

### Задача 24.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования изобутилена метанолом:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

### Задача 25.

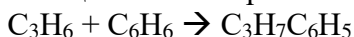
1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования бензола пропиленом:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

## Раздел 4.

### Практическая работа «Кинетический анализ ХТП»

#### Задача 26.

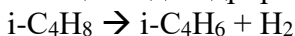
1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 600, 800 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидрирования изобутана:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### **Задача 26.**

Расчитать равновесный состав реакции дегидрирования кумола. Пропускная способность установки по кумолу 38 т/сут.

Состав технического изопропилбензола в % масс.:

Кумол = 98,5

Пропилбензол = 1,5

Мольное соотношение водяного пара к кумолу = 3:1. Значение  $K_p$  при  $T=600^\circ\text{C}$  равно 0,09

#### **Задача 27.**

Часть 1

Расчет констант равновесия. Определение равновесных степеней превращения.

1. Определить термодинамические функции (изменение энтальпии и энтропии) реакции изомеризации н-пентана в i-пентан при температурах 200, 250, 450  $^\circ\text{C}$ .

2. Определить оптимальные условия протекания процесса (температура, давление, разбавление инертным газом), рассчитать константу равновесия при оптимальных условиях.

3. Для идеальной газовой смеси рассчитать равновесную степень превращения при оптимальных условиях.

Процесс изомеризации н-пентана в изопентан:

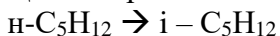


Часть 2

Составить материальный баланс процесса получения изопентана изомеризацией н-пентана мощностью 80 т.т. в год. Эффективный фонд рабочего времени 8400 часов. В ходе протекания процесса достигаются следующие показатели: степень превращения н-пентана – равновесная (по задаче 27), селективность превращения – 95%. Потери изопентана – 5% масс. Технический н-пентан содержит 4% масс н-бутана. Рассчитать расходные коэффициенты.

Схема химических реакций:

Целевая реакция:



Побочные реакции:



#### **Задача 28.**

Часть 1.

Расчет констант равновесия. Определение равновесных степеней превращения.

1. Определить термодинамические функции (изменение энтальпии и энтропии) реакции дегидрирования i-пентана в изоамилены при температурах 400, 550, 650  $^\circ\text{C}$ . Разбавление водяным паром в соотношении 5:1, 10:1 по отношению к исходной смеси.

2. Определить оптимальные условия протекания процесса (температура, давление, разбавление инертным газом), рассчитать константу равновесия при оптимальных условиях.

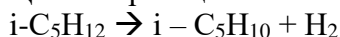
3. Для идеальной газовой смеси рассчитать равновесную степень превращения при оптимальных условиях.

Часть 2 Стехиометрия и материальный баланс.

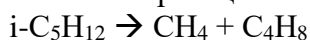
Составить материальный баланс процесса получения изоамиленов дегидрированием *i*-пентана мощностью 80 т.т. в год. Эффективный фонд рабочего времени 8400 часов. В ходе протекания процесса достигаются следующие показатели: степень превращения *i*-пентана - равновесная, селективность превращения – 83%. Потери изопентана – 5% масс. Технический *i*-пентан содержит 10% масс *n*-пентана. Рассчитать расходные коэффициенты.

Схема химических реакций:

Целевая реакция:



Побочные реакции:



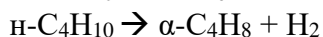
### Задача 29.

Расчет констант равновесия. Определение равновесных степеней превращения и равновесного состава.

1. Определить термодинамические функции (изменение энтальпии и энтропии) реакции дегидрирования бутана в дивинил при температурах 300, 450, 550 °С.

2. Определить оптимальные условия протекания процесса (температура, давление, разбавление инертным газом), рассчитать константу равновесия при оптимальных условиях.

3. Рассчитать состав идеальной газовой смеси следующего процесса (принять начальное количество *n*-бутана равным 1 кмоль):

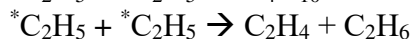
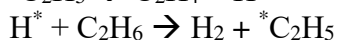
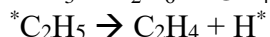
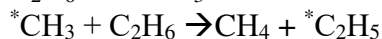
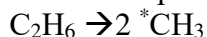


4. Рассчитать состав идеальной газовой смеси следующего процесса (принять начальное количество *n*-бутана равным 1 кмоль), температура оптимальная, разбавление сырьем: инертным газом (водяной пар) – 1:10 моль.

Компонент	Энтальпия образования, кДж/моль	Энтропия, Дж/моль К
<i>n</i> -бутан		
бутен-1		
водород		
бутадиен		

### Задача 30.

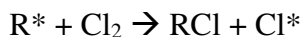
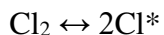
Механизм реакции описывается следующими уравнениями:



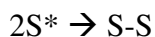
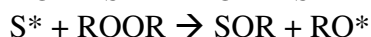
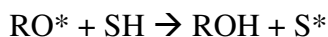
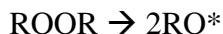
Вывести кинетическое уравнение для образования этилена

**Задача 31.**

Вывести кинетическое уравнение расходования углеводорода:

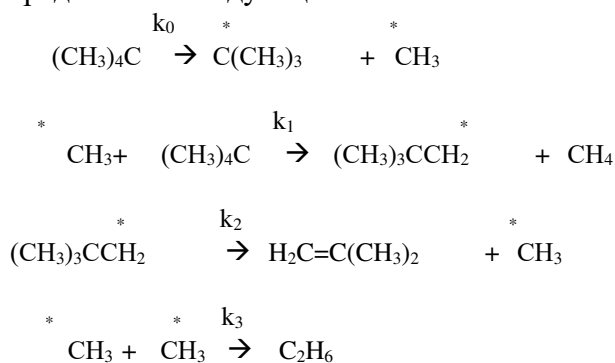
**Задача 32.**

Вывести кинетическое уравнение расходования перекиси для представленного механизма:

**Задача 33.**

. Вывести кинетическое уравнение для реакции превращения неопентана в изобутилен  $(\text{CH}_3)_4\text{C} \rightarrow \text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2 + \text{CH}_4$ ;

Механизм представлен следующей схемой:

**Критерии оценки:**

	очная ф.о. IV семестр		очно-заочная ф.о. V семестр		заочная / з. ф.о. ВО VI / IV семестр	
	Задачи №	баллы min-max	Задачи	баллы min-max	Задачи	баллы min-max
Практическая работа 3 «Термодинамический анализ ХТП»	19-25	6-10	19-21	6-10	19	4,2-7
Практическая работа 4 «Кинетический анализ ХТП»	26-33	6-10	26-29	6-10	26	4,8-8
ИТОГО:	12-20		12-20		9-15	

Баллы снижаются при наличии недочетов и ошибок

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический*  
*Кафедра нефтехимического синтеза*

**Комплект заданий для работы в малых группах**  
по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»

**Семестр 3 (очная ф.о.), 4 (очно-заочная, заочная ф.о.)**

При организации практического занятия в интерактивной форме следует обращать внимание на следующие ее аспекты:

- Нужно убедиться, что учащиеся обладают знаниями, необходимыми для решения задач. Нехватка знаний очень скоро даст о себе знать – учащиеся не станут прилагать усилий для выполнения задания.
- Надо предоставлять группе достаточно времени на выполнение заданий.  
Методика осуществления:  
Организационный этап.  
Подбор практических задач, отвечающих следующим критериям:
  - является практическим и полезным для учащихся
  - вызывает интерес у учащихся
  - максимально служит целям обучения.

Группа студентов делится на несколько малых групп. Малые группы, в количестве 4-5 человек, формируются по желанию студентов. Малые группы занимают определенное пространство, удобное для обсуждения на уровне группы.

**Примерный сценарий занятия.**

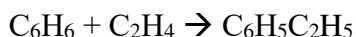
<b>Тема</b>	<b>Материальный баланс.</b>
<b>Материальное обеспечение</b>	Карточки с задачами и вопросами. Секундомер.
<b>Содержание заданий</b>	Составить ответы на поставленные вопросы, решение задачи.
<b>Организация</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Студенты разбиваются на группы по 4-5 человек. В каждой группе назначается лидер (спикер, капитан).</li><li>2. Выдаются карточки с задачами и определяется регламент (не более 45 минут)</li><li>3. Группы обмениваются карточками. Максимальный балл получает группа, затратившая наименьшее время на решение двух задач.</li></ol>
<b>Итоги</b>	Определение тем, которые необходимо повторить или изучить. Выставление оценок.

*Раздел 2. Материальный баланс ХТП.*

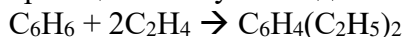
*Задача 9.*

При алкилировании бензола этиленом образуется 1000 кг этилбензола и 15 кг диэтилбензола. Для увеличения селективности бензол подается в трехкратном избытке от стехиометрически необходимого. Степень чистоты бензола 98,5% масс. в этилене содержится 2% об. этана. Определить: степень превращения бензола и селективность по бензолу; расходные коэффициенты по сырью. Составить материальный баланс процесса.

Целевая реакция – получение этилбензола:



Побочная реакция – получение диэтилбензола:



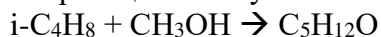
*Вопросы:*

1. Одним из способов снижения расходных коэффициентов является использование более чистого сырья, укажите еще три способа снижения расходных коэффициентов.
2. Если на выходе из реактора в реакционной смеси отсутствуют исходные вещества, то степень превращения равна - ?
3. Приведите математическую зависимость выхода по целевому продукту от селективности и конверсии?

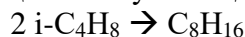
*Задача 10.*

При алкилировании метанола изобутиленом образуется 740 кг метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Расходный коэффициент изобутилена 0,9 кг на 1 кг МТБЭ, степень превращения изобутилена равна 1. Определить: количество превращенного метанола; образовавшихся димеров; селективность процесса, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение МТБЭ:



Побочная реакция - получение диизобутилена:



*Вопросы:*

1. Какой из коэффициентов больше теоретический или практический и почему?
2. Если теоретический расходный коэффициент равен 0,83, а селективность и степень превращения 0,85 и 0,9 соответственно, сырье имеет 5% примесей, и отсутствуют потери, чему равен практический расходный коэффициент?
3. Имеются ли побочные реакции, если селективность равна 0,80, а степень превращения 0,60? Какое количество сырья израсходовалось на целевую и побочную реакции, если всего подано 10 кмоль исходных веществ?

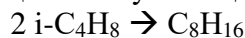
*Задача 12.*

При гидратации изобутилена образуется 120 кг триметилкарбинола. Селективность процесса 98%, конверсия изобутилена 99%. Мольное соотношение изобутилен: вода равно 1:2. Определить: количество превращенной воды; расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение ТМК:



Побочная реакция - получение диизобутилена:



*Вопросы:*

1. Какие физические процессы протекают в реакторе
2. Указать последовательность протекания химико-технологического процесса (по мере преобразования исходных веществ с целевые продукты): химическое превращение, разделение реакционной массы, переработка побочных продуктов, подготовка реагентов.
3. От каких параметров технологического процесса зависит практический расходный коэффициент?

*Задача 13.*

При гидратации окиси этилена образуется 250 кг этиленгликоля. Селективность превращения окиси этилена в моноэтиленгликоль 98%, степень превращения окиси этилена 1. Мольное соотношение окись этилена: вода равно 1:18. Составить мольный и массовый материальный баланс; определить расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение МЭГ:



Побочная реакция – получение ДЭГ:



*Вопросы:*

1. В каком случае практический расходный коэффициент может быть равен теоретическому?
2. Если непревращенное исходное сырье легко отделяется от целевых и побочных продуктов, то для снижения расходных коэффициентов увеличение какого из показателей, в химическом реакторе, будет более важным – селективность или конверсия? Почему?
3. Если при увеличении степени превращения выход по целевому продукту остается неизменным, как изменяется селективность.

#### Критерии оценки:

	очная ф.о. III семестр		очно-заочная ф.о. IV семестр		заочная / з. ВО ф.о. IV /III семестр	
	№ задачи №	баллы min-max	№задачи	баллы min-max	№задачи	баллы min-max
Работа в малых группах «Материальные балансы ХТП»	9	3-6	9	3-6	9	3-5
	10	3-6	12	3-6		
	12	3-6				
	13	3-6				
ИТОГО:	12-20		12-20		3-5	

#### Семестр 4 (очная ф.о.), 5 (очно-заочная, заочная ф.о.)

##### Раздел 3. Термодинамический анализ ХТП

##### Задача 20.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
  - при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидратации этанола:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

*Вопросы:*

1. Графически проиллюстрировать протекание экзо- и эндотермических реакций
2. Сформулировать принцип Ле-Шателье
3. Сформулировать закон действующих масс
4. Показать каким образом влияет температура на направление самопроизвольного протекания обратимого химического процесса
5. Показать каким образом влияет общее давление на направление самопроизвольного протекания обратимого химического процесса.
6. Дайте определение понятию энтальпия химической реакции.

7. Дайте определение понятию энтропия химической реакции.

Задача 21.

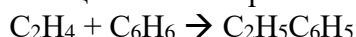
1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования бензола этиленом:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

Вопросы:

1. Уравнение Гиббса. Дать анализ и привести все возможные случаи самопроизвольного протекания химического процесса.
2. Дайте определение и математическое выражение понятию изобарная константа равновесия химического процесса.
3. Приведите математическую зависимость изобарной и изохорной константы равновесия.
4. Дайте определение и математическое выражение понятию изохорная константа равновесия химического процесса.
5. Приведите зависимость константы равновесия от температуры. Покажите, что для экзотермического процесса снижение температуры приводит к смещению равновесия в сторону продуктов реакции.

#### Критерии оценки:

	очная ф.о. IV семестр		очно-заочная ф.о. V семестр		заочная / з. ВО ф.о. VI / IV семестр	
	№ задачи №	баллы min-max	№задачи	баллы min-max	№задачи	баллы min-max
Работа в малых группах «Термодинамический анализ ХТП»	20 21	3-5 3-5	20 21	3-5 3-5	20	3-5
ИТОГО:	6-10		6-10		3-5	

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический  
Кафедра нефтехимического синтеза*

**Комплект заданий для контрольных работ**  
по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»

**Семестр 3(очная ф.о.), 4(очно-заочная) 4 / 3 (заочная / з.ВО ф.о.)**

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1**

Для выполнения предлагается 8 заданий, различной сложности. Задание рассчитано на 2 академических часа (1,5 часа).

Задание 1. Одним из способов снижения расходных коэффициентов является использование более чистого сырья, укажите еще три способа снижения расходных коэффициентов (ответ аргументировать):

Задание 2. Указать последовательность протекания химико-технологического процесса (по мере преобразования исходных веществ с целевые продукты): химическое превращение, разделение реакционной массы, переработка побочных продуктов, подготовка реагентов.

Задание 3. Какое оборудование используется на стадии химического превращения исходного сырья в целевые продукты.

Задание 4. Дайте определение и математическое выражение понятию:

Степень превращения исходного сырья –

Если на выходе из реактора в реакционной смеси отсутствуют исходные вещества, то степень превращения равна -

Задание 5. Дайте определение и математическое выражение понятию:

интегральная (полная) селективность –

Имеются ли побочные реакции, если селективность равна 0,85? Чему равна селективность, если всего превратилось 10 кмоль исходного вещества, а целевого продукта образовалось 8 кмоль?

Задание 6. Дайте определение и математическое выражение понятию:

Теоретический расходный коэффициент по сырью –

Практический расходный коэффициент по сырью –

Какой из коэффициентов больше теоретический или практический и почему?

Если теоретический расходный коэффициент равен 0,83, а селективность и степень превращения 0,85 и 0,9 соответственно, сырье имеет 5% примесей, и отсутствуют потери, чему равен практический расходный коэффициент?

Задание 7. Дайте определение и математическое выражение понятию:

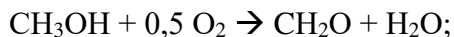
Выход по целевому продукту –

Приведете математическую зависимость выхода по целевому продукту от селективности и конверсии?

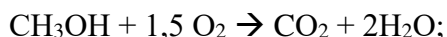
Задание 8.

(вариант 1) При каталитическом окислении метанола кислородом воздуха на серебряном катализаторе образуется 300 кг формальдегида. Селективность процесса 80%, степень превращения метанола 90%. Технический метанол содержит 10% диметилового эфира. Определить: расходные коэффициенты по сырью; предложить мероприятия по снижению расходных коэффициентов (обосновать).

Целевая реакция



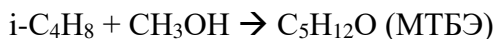
Побочная реакция



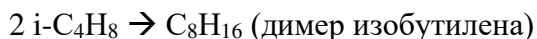
(вариант 2)

При алкилировании метанола изобутиленом образуется 840 кг/ч метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Расходный коэффициент изобутилена 0,96 кг на 1 кг МТБЭ, степень превращения изобутилена равна 1. Определить: количество превращенного метанола; образовавшихся димеров; селективность процесса, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция



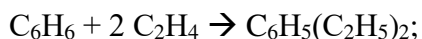
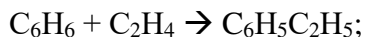
Побочная реакция



(вариант 3)

Составить мольный материальный баланс.

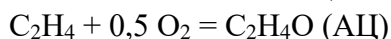
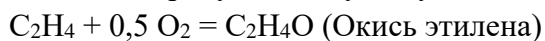
На реакцию алкилирования бензола подано 1054 кг этилена. Мольное соотношение поданных бензол: этилен = 2:1. Содержание основного вещества в техническом бензоле 98% масс. Этилен отсутствует в продуктах реакции. Селективность процесса 92%. Определить степень превращения реагентов.



(вариант 4)

Определить степень превращения реагентов и селективность расходования этилена на образование окиси этилена и ацетальдегид.

На реакцию окисления подано 150 кг технического этилена и 600 кг кислорода. Мольное соотношение продуктов реакции равно ОЭ : АЦ = 13:1. Учесть, что одно из исходных веществ в продуктах отсутствует.



### **Критерии оценки:**

Для очной, очно-заочной формы обучения:

- минимально 12, максимально 20 баллов за контрольную работу №1 (если все ответы правильные); за 1 неправильный ответ снимается минимум 2 балла;

Для заочной формы обучения (з.ВО для профиля ХТОВ):

- минимально 21, максимально 35 баллов за контрольную работу №1 (если все ответы правильные); за 1 неправильный ответ снимается минимум 3 балла;

## Семестр 4(очная ф.о.), 5(очно-заочная ф.о.)

### КОНТРОЛЬНАЯ №2

Для выполнения предлагается 13 заданий, различной сложности. Задание рассчитано на 2 академических часа (1,5 часа).

Задание 1. Одним из способов снижения расходных коэффициентов является использование более чистого сырья, укажите еще три способа снижения расходных коэффициентов (ответ аргументировать):

Задание 2. Дайте определение и математическое выражение понятию:

Степень превращения исходного сырья –

Если на выходе из реактора в реакционной смеси отсутствуют исходные вещества, то степень превращения равна -

Задание 3. Дайте определение и математическое выражение понятию:

интегральная (полная) селективность –

Имеются ли побочные реакции, если селективность равна 0,95? Чему равна селективность, если всего превратилось 10 кмоль исходного вещества, а целевого продукта образовалось 8 кмоль?

Задание 4. Дайте определение и математическое выражение понятию:

Теоретический расходный коэффициент по сырью –

Практический расходный коэффициент по сырью –

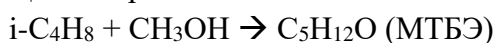
Какой из коэффициентов больше теоретический или практический и почему?

Если теоретический расходный коэффициент равен 0,83, а селективность и степень превращения 0,85 и 0,9 соответственно, сырье имеет 5% примесей, и отсутствуют потери, чему равен практический расходный коэффициент?

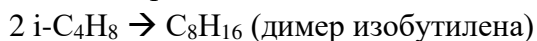
Задание 5. Показать каким образом влияет температура на направление самопроизвольного протекания обратимого химического процесса.

Задание 6. При алкилировании метанола изобутиленом образуется 940 кг/ч метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Расходный коэффициент изобутилена 0,9 кг на 1 кг МТБЭ, степень превращения изобутилена равна 1. Определить: количество превращенного метанола; образовавшихся димеров; селективность процесса, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция



Побочная реакция



Задание 7. Дайте определение понятию:

Энтальпия химической реакции –

Рассчитать энтальпию химической реакции алкилирования бензола этиленом:

Участники реакции	$\Delta H_{\text{веществ}}, \text{кДж/моль}$	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$
этилен	52,36	11,32	122,01	-37,90
бензол	-161,27	-21,09	400,12	-169,87
этилбензол	29,83	-15,61	548,82	-220,37
азот	0	27,88	4,27	-

Задание 8. Что понимается под понятием

экзотермическая химическая реакция –

эндотермическая химическая реакция –

Задание 9. Графически проиллюстрировать протекание экзо и эндотермических реакций:

Задание 10. Дайте определение понятию:

Энтродия химической реакции –

Рассчитать энтропию химической реакции алкилирования бензола этиленом, если:

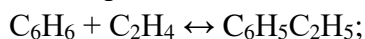
Участники реакции	$S_{\text{веществ}}, \text{ Дж/моль К}$
этилен	219,45
бензол	269,20
этилбензол	360,45
азот	191,50

Задание 11. Дайте определение и математическое выражение понятию:

Изобарная константа равновесия химического процесса –

Приведите математическую зависимость изобарной и изохорной константы равновесия?

Задание 12. Методом Темкина – Шварцмана рассчитать константу равновесия процесса алкилирования бензола этиленом при температуре 350 °С:



Задание 13. Рассчитать равновесный состав реакции изомеризации н-бутана в изобутан:

Условия реакции: температура – 250 °С; давление - 1 атм.

Участники реакции	$\Delta H_{\text{веществ}}, \text{ кДж/моль}$	$S_{\text{веществ}}, \text{ Дж/моль К}$	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$
Н-бутан	-126,15	310,12	18,23	303,56	-92,65
Изобутан	-134,52	294,64	9,61	344,79	-128,83
Водяной пар	-241,81	188,72	30,00	10,71	0,33

**Критерии оценки:**

**Семестр 4(очная ф.о.), 5(очно-заочная)**

Для очной, очно-заочной форм обучения:

- минимально 12, максимально 20 баллов за контрольную работу №2 (если все ответы правильные); за 1 неправильный ответ снимается минимум 2 балла;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический  
Кафедра нефтехимического синтеза*

**Комплект заданий контрольной работы для заочной формы обучения  
по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»**

Вариант контрольного задания выбирается в соответствии с последней цифрой зачетной книжки студента. Перед тем как приступить к выполнению контрольного задания, студент должен, пользуясь методическими указаниями, проработать рекомендуемую литературу. Контрольная работа выполняется отдельно и представляется на кафедру для рецензирования в намеченные по графику сроки.

Контрольная работа оформляется в тетради. Ответы на вопросы, уравнения реакций записываются полностью. Произвольные сокращения не допускаются, таблицы и рисунки оформляются в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению. По всем вариантам должны быть приведены уравнения химических реакций и подробное решение задач. В конце контрольной работы приводится список использованной литературы.

Номера вопросов контрольных заданий приведены в таблице:

Последние две цифры зачетной книжки студента	№ заданий		Последние две цифры зачетной книжки студента	№ заданий	
	Семестр 4 заоч. ф.о.	Семестр 3 заоч. ВО ф.о.		Семестр 5 заоч. ф.о	Семестр 4 заоч. ВО ф.о.
1	1,4,11	2,3,16	16	1,3,16	1,4,11
2	2,5,12	6,7,15	17	6,7,15	2,5,12
3	3,5,13	2,6,18	18	2,6,18	3,7,13
4	2,9,14	8,10,11	19	8,10,11	2,11,14
5	4,6,20	1,9,17	20	1,9,17	4,6,20
6	2,7,16	3,10,13	21	3,10,13	2,7,16
7	4,8,17	2,7,16	22	2,7,16	4,8,17
8	2,9,18	3,8,19	23	3,8,19	2,9,18
9	1,8,12	2,4,14	24	2,4,14	1,8,12
10	1,7,13	4,6,16	25	4,6,16	1,7,13
11	3,9,11	2,3,18	26	2,3,18	3,9,11
12	1,5,19	6,7,20	27	5,7,20	1,6,19
13	2,8,18	5,10,14	28	5,10,14	2,8,18
14	3,5,17	6,9,11	29	6,9,11	3,5,17
15	3,4,11	9,10,21	30	9,10,21	3,4,11

Контрольные задания по курсу Теория ХТП состоят из двух типов заданий. Задания I типа - стехиометрия и критерии эффективности ХТП; II – типа – термодинамические параметры ХТП, равновесие химических реакций, расчет констант равновесия и равновесных составов, III – типа - Механизмы химических реакций.

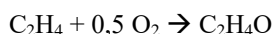
Задания I типа.

Стехиометрические соотношения, технологические показатели процесса.

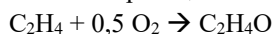
Задача 1.

На реакцию каталитического окисления подано 100 кг технического этилена, его степень превращения 13%, при этом образовалось 3 кг ацетальдегида. Технический этилен содержит 97% этилена, 3% этана. Определить: объем поданного воздуха, если принять, что в воздухе содержится 21% кислорода, остальное азот; селективность процесса и выход целевого продукта, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – окисление этилена в этиленоксид:



Побочная реакция – окисление этилена в ацетальдегид:



#### Задача 2.

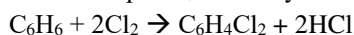
При хлорировании бензола, образуется 30 кг хлорбензола. Селективность процесса 97%. Мольное соотношение исходной смеси бензол: хлор равно 3:1. Технический бензол содержит 98% масс. основного вещества; технический хлор содержит 3% масс. примесей.

Определить: количество образующегося дихлорбензола; степень превращения бензола; расходные коэффициенты по сырью. Предложить мероприятия по снижению расходных коэффициентов.

Целевая реакция – получение хлорбензола:



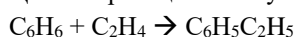
Побочная реакция – получение дихлорбензола:



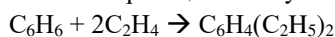
#### Задача 3.

При алкилировании бензола этиленом образуется 1000 кг этилбензола и 15 кг диэтилбензола. Для увеличения селективности бензол подается в трехкратном избытке от стехиометрически необходимого. Степень чистоты бензола 98,5% масс. в этилене содержится 2% об. этана. Определить: степень превращения бензола и селективность по бензолу; расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение этилбензола:

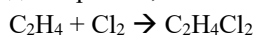


Побочная реакция – получение диэтилбензола:



#### Задача 4.

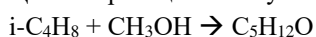
На реакцию хлорирования этилена подается 56 кг этилена и 71 кг хлора. Технический хлор содержит 2% масс. азота (примесь), технический этилен содержит 5% об. этана. Определить количество образующегося дихлорэтана, степень превращения этилена, расходные коэффициенты по сырью.



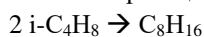
#### Задача 5.

При алкилировании метанола изобутиленом образуется 740 кг метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Расходный коэффициент изобутилена 0,9 кг на 1 кг МТБЭ, степень превращения изобутилена равна 1. Определить: количество превращенного метанола; образовавшихся димеров; селективность процесса, расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение МТБЭ:



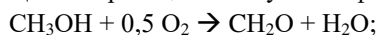
Побочная реакция - получение диизобутилена:



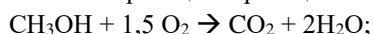
#### Задача 6.

При каталитическом окислении метанола кислородом воздуха на серебряном катализаторе образуется 300 кг формальдегида. Селективность процесса 80%, степень превращения метанола 90%. Технический метанол содержит 10% диметилового эфира. Определить: количество подаваемого воздуха; количество исходных веществ и продуктов реакции; расходные коэффициенты по сырью; предложить мероприятия по снижению расходных коэффициентов (обосновать).

Целевая реакция – получение формальдегида:



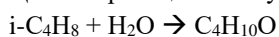
Побочная реакция – реакция полного окисления:



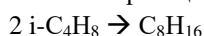
#### Задача 7.

При гидратации изобутилена образуется 120 кг триметилкарбинола. Селективность процесса 98%, конверсия изобутилена 99%. Мольное соотношение изобутилен: вода равно 1:2. Определить: количество превращенной воды; расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение ТМК:



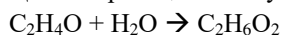
Побочная реакция - получение диизобутилена:



#### Задача 8.

При гидратации окиси этилена образуется 250 кг этиленгликоля. Селективность превращения окиси этилена в моноэтиленгликоль 98%, степень превращения окиси этилена 1. Мольное соотношение окись этилена: вода равно 1:18. Составить мольный и массовый материальный баланс; определить расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение МЭГ:



Побочная реакция – получение ДЭГ:



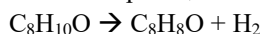
#### Задача 9.

При дегидратации метилфенилкарбинола образуется 1500 кг стирола. Селективность процесса 0,83, конверсия метилфенилкарбинола 71%. С целью увеличения выхода целевого продукта на стадию химического превращения исходное сырье подается в смеси с водяным паром. Массовое соотношение МФК: водяной пар 1:4. Составить мольный и массовый материальный баланс. Определить: количество превращенной воды; расходные коэффициенты по сырью.

Целевая реакция – получение стирола:



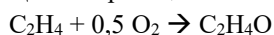
Побочная реакция – получение ацетофенона:



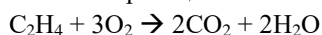
#### Задача 10.

На реакцию каталитического окисления подано 15 000 кг/ч технического этилена, его степень превращения 13%, при этом образовалось 1200 кг/ч ацетальдегида. Технический этилен содержит, % масс: этилена- 98, этана- 2. Определить: объем поданного воздуха, если принять, что в воздухе содержится 20% кислорода, остальное азот; селективность процесса и выход целевого продукта, расходные коэффициенты по сырью. Составить мольный и массовый материальный баланс.

Целевая реакция – окисление этилена в этиленоксид:



Побочная реакция – окисление этилена в ацетальдегид:



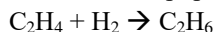
#### Задания II типа.

Равновесие химических реакций, расчет равновесных составов.

#### Задача 11.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
  - при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – гидрирование этилена:



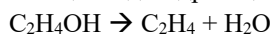
Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 12.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).
2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:
  - при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
  - при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;

- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидратации этанола:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 13.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

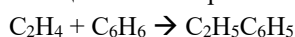
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;

- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;

- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования бензола этиленом:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 14.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 400, 500, 700 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

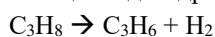
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;

- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;

- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидрирования пропана:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 15.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 550, 750, 1100 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

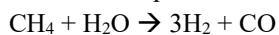
3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;

- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;

- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – паровая конверсия метана:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 16.

1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования изобутилена метанолом:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 17.

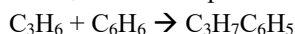
1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 400, 500 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – алкилирования бензола пропиленом:



Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задача 18.

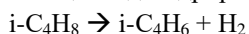
1. Определить энтальпию химической реакции при стандартных условиях; при температурах: 300, 600, 800 К (принять, что энтальпия процесса и теплоемкость зависят от температуры).

2. Определить константу равновесия для данной реакции при указанных выше температурах, определить оптимальную температуру.

3. Определить равновесный состав реакции, если принять, что - реакция протекает в идеальных условиях и подчиняется закону Рауля:

- при оптимальной температуре и давлении 1 атм.;
- при оптимальной температуре и давлении 5 атм.;
- при разбавлении инертным газом в количестве 10 кмоль.

Реакция – дегидрирования изобутана:

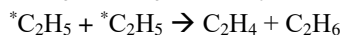
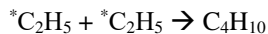
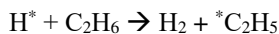
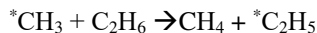
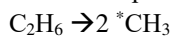


Предложить оптимальные условия процесса: оптимальную температуру, давление, разбавление инертным газом?

#### Задания III типа.

##### Механизмы химических реакций.

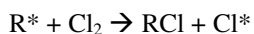
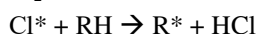
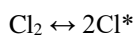
Механизм реакции описывается следующими уравнениями:



Вывести кинетическое уравнение для образования этилена

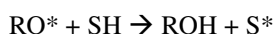
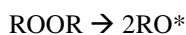
#### Задача 19.

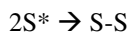
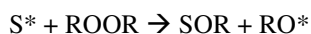
Вывести кинетическое уравнение расходования углеводорода:



#### Задача 20.

Вывести кинетическое уравнение расходования перекиси для представленного механизма:

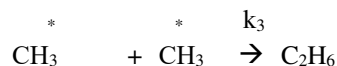
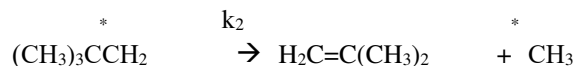
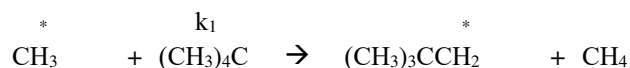
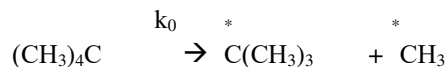




Задача 21.

. Вывести кинетическое уравнение для реакции превращения неопентана в изобутилен  $(CH_3)_4C \rightarrow H_2C=C(CH_3)_2 + CH_4$ ;

Механизм представлен следующей схемой:



#### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потехин В.М., Потехин В.В., Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: Учебник для вузов, - СПб: ХИМИЗДАТ, 2005.-912 с.: ил.
2. Лебедев Н.Н., Манаков М.Н., Швец В.Ф., Теория технологических процессов основного органического и нефтехимического синтеза, М., Химия, 1975.-478 с.: ил.
3. Смирнов Н.Н., Волжинский А.И., Химические реакторы в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд., перераб.- Л.: Химия, 1986.-224 с., ил.
4. Стромберг А.Г., Лельчук Х.А., Картушинская А.И. Сборник задач по химической термодинамике: Учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов/ Под ред. А.Г.Стромберга.-2-е изд., перераб.-М.: Высш. шк., 1985.-192 с., ил.

#### Критерии оценки:

Для заочной / з.ВО форм обучения (семестр 4/3):

- минимально 25, максимально 42 баллов за контрольную работу (если все ответы правильные); за 1 неправильный ответ снимается 2 балла;

(семестр 5/ 4):

- минимально 24, максимально 40 баллов за контрольную работу (если все ответы правильные); за 1 неправильный ответ снимается 2 балла;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический*  
*Кафедра нефтехимического синтеза*

**Комплект тем для докладов**  
по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»

**Семестр 4 (очная ф.о.), 5 (очно-заочная, заочная ф.о.)**

Темы докладов:

1. Реакции нуклеофильного замещения у насыщенного атома углерода. Замещение по типу  $S_N1$ .
2. Реакции нуклеофильного замещения у насыщенного атома углерода. Замещение по типу  $S_N2$ .
3. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Присоединение галогенов и галогенводородов к олефинам.
4. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Присоединение по правилу Марковникова. Присоединение против правила Марковникова.
5. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Реакции Прилежаева. Механизм эпоксицирования олефинов надкислотами и гидроперекисями.
6. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Гидратация.
7. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Озонолиз
8. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Механизм реакции гидрирования. Катализаторы гидрирования олефинов.
9. Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода. Влияние растворителя.
10. Реакции отщепления. Механизм  $E1$ .
11. Реакции отщепления. Механизм  $E2$ .
12. Отщепление и замещение. Влияние активирующих групп.
13. Классификация химических реакций.
14. Процессы окисления. Теоретические основы, катализаторы
15. Процессы гидрирования. Теоретические основы, катализаторы

**Критерии оценки:**

Для очной формы обучения:

- минимально 6, максимально 10 баллов за доклад.

Для очно-заочной формы обучения:

- минимально 6, максимально 10 баллов за доклад.

**Комплект заданий РГР**

по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»

**Семестр 3(очная ф.о.), 4(очно-заочная, заочная ф.о.)**

**Вариант 1**

**Задание 1**

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^0, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 1 \text{ кмоль/м}^3; X_A = 0,4; \quad k = 1,1.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

**Задание 2**

Определите объем а) РИС–Н; б) РИВ–Н, необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,4$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = 1,1 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 1 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $v = 11 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Задание 3**

В реакторе а) РИС–Н; б) РИВ–Н, проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для достижения степени превращения, составляющей 71% равновесной, если объемный расход  $v = 1,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,11 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,21 \text{ ч}^{-1}$ .

**Задание 4**

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из а) РИС–Н; б) РИВ–Н, объемом  $0,5 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A + B \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,1 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $v = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 11 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

**Задание 5**

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,1 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R + S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,1}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,1 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $v = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

**Задание 6**

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,1 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,9$ , если объемный расход  $v = 1,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,31 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,1$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,81$ ,  $C_{A,0} = 5$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,3$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### Вариант 2

#### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^1, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 2 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,5; \quad k = 1,2.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

#### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,5$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = 1,2$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $k = 2$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч), реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 12$  м<sup>3</sup>/ч.

#### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 72% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,2$  м<sup>3</sup>/ч,  $k_1 = 0,12$  ч<sup>-1</sup>,  $k_2 = 0,22$  ч<sup>-1</sup>.

#### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

объемом  $0,6$  м<sup>3</sup> при проведении реакции  $A + B \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,2$  кмоль/м<sup>3</sup>, объемный расход  $\nu = 6$  м<sup>3</sup>/ч, константа скорости  $k = 12$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч).

#### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,2$  м<sup>3</sup>, если для проведения реакции  $A \rightarrow R + S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,2}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,2$  кмоль/м<sup>3</sup> и объемным расходом  $\nu = 2$  м<sup>3</sup>/ч (графическим методом).

#### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,2$  м<sup>3</sup>) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,91$ , если объемный расход  $\nu = 1,2$  м<sup>3</sup>/ч,  $k = 0,32$  ч<sup>-1</sup>.

#### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,2$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,82$ ,  $C_{A,0} = 6$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,4$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### Вариант 3

#### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$[w_r = k \cdot C_A^2], \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 3 \text{ кмоль/м}^3; X_A = 0,6; \quad k = 1,3.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,6$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = 1,3 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 3 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 13 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 73% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,13 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,23 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

объемом  $0,7 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A + B \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,3 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 7 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 13 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,3 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R + S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,3}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,3 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,3 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,93$ , если объемный расход  $\nu = 1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,33 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,3$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,83$ ,  $C_{A,0} = 7 \text{ (кмоль/м}^3)$ . Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,5 \text{ часа}$  ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

## Вариант 4

### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$[w_r = k \cdot C_A^0], \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 4 \text{ кмоль/м}^3; X_A = 0,7; \quad k = 1,4.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,7$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = 1,4 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 4 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 14 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для достижения степени превращения, составляющей 74% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,14 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,24 \text{ ч}^{-1}$ .

#### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н; б) РИВ–Н,

объемом  $0,8 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,4 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 14 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

#### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,4 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,4}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,4 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

#### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,4 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,94$ , если объемный расход  $\nu = 1,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,34 \text{ ч}^{-1}$ .

#### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,4$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,84$ ,  $C_{A,0} = 8 \text{ (кмоль/м}^3)$ . Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,6$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### Вариант 5

#### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$[w_r = k \cdot C_A], \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 5 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,8; \quad k = 1,5.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

#### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,8$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = 1,5 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 5 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

#### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 75% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,15 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,25 \text{ ч}^{-1}$ .

#### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н; б) РИВ–Н,

объемом  $0,9 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,5 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 7 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 15 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,5 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 2 \cdot C_A^{1,5}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,5 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,5 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,95$ , если объемный расход  $\nu = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,35 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,5$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,85$ ,  $C_{A,0} = 9 \text{ (кмоль/м}^3)$ . Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,5 \text{ часа}$  ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

## Вариант 6

### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^2, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 6 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,9; \quad k = 1,6.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

### Задание 2

Определите объем а) РИС–Н; б) РИВ–Н, необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,9$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = 1,6 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 6 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Задание 3

В реакторе а) РИС–Н; б) РИВ–Н, проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для достижения степени превращения, составляющей 76% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,16 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,26 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из а) РИС–Н; б) РИВ–Н, объемом  $1,0 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,6 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 16 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,6 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,6}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,6 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,6 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,96$ , если объемный расход  $\nu = 1,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,36 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,6$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,86$ ,  $C_{A,0} = 10$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (**графически и аналитически**), сколько времени потребуется для проведения реакции в **каскаде РИС–Н**, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,4$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### Вариант 7

#### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^0, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 7 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,8; \quad k = 1,7.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

#### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,91$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = 1,7$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $k = 7$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч), реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 15$  м<sup>3</sup>/ч.

#### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 77% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,7$  м<sup>3</sup>/ч,  $k_1 = 0,17$  ч<sup>–1</sup>,  $k_2 = 0,27$  ч<sup>–1</sup>.

#### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

объемом  $1,1$  м<sup>3</sup> при проведении реакции  $A + B \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,7$  кмоль/м<sup>3</sup>, объемный расход  $\nu = 7$  м<sup>3</sup>/ч, константа скорости  $k = 15$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч).

#### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,5$  м<sup>3</sup>, если для проведения реакции  $A \rightarrow R + S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,7}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,7$  кмоль/м<sup>3</sup> и объемным расходом  $\nu = 3$  м<sup>3</sup>/ч (графическим методом).

#### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,5$  м<sup>3</sup>) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (**аналитически**) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,97$ , если объемный расход  $\nu = 1,5$  м<sup>3</sup>/ч,  $k = 0,37$  ч<sup>–1</sup>.

#### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,7$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,87$ ,  $C_{A,0} = 11$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (**графически и аналитически**), сколько времени потребуется для проведения реакции в **каскаде РИС–Н**, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,3$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### Вариант 8

#### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^1, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 8 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,7; \quad k = 1,8.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,92$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = 1,8$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $k = 8$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч), реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 14$  м<sup>3</sup>/ч.

### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 78% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,8$  м<sup>3</sup>/ч,  $k_1 = 0,18$  ч<sup>-1</sup>,  $k_2 = 0,28$  ч<sup>-1</sup>.

### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

объемом  $1,2$  м<sup>3</sup> при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,8$  кмоль/м<sup>3</sup>, объемный расход  $\nu = 8$  м<sup>3</sup>/ч, константа скорости  $k = 14$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч).

### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,4$  м<sup>3</sup>, если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,8}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,8$  кмоль/м<sup>3</sup> и объемным расходом  $\nu = 1$  м<sup>3</sup>/ч (графическим методом).

### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,4$  м<sup>3</sup>) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,98$ , если объемный расход  $\nu = 1,4$  м<sup>3</sup>/ч,  $k = 0,38$  ч<sup>-1</sup>.

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,8$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,88$ ,  $C_{A,0} = 12$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,2$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

## Вариант 9

### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^2, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 9 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,6; \quad k = 1,9.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,93$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = 1,9$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $k = 9$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч), реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 13$  м<sup>3</sup>/ч.

### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для достижения степени превращения, составляющей 79% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,9 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,19 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,29 \text{ ч}^{-1}$ .

#### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н; б) РИВ–Н,

объемом  $1,3 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,9 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 13 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

#### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,3 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,9}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,9 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

#### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,5 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,99$ , если объемный расход  $\nu = 1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,39 \text{ ч}^{-1}$ .

#### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,9$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,89$ ,  $C_{A,0} = 13 \text{ (кмоль/м}^3)$ . Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,1$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### Вариант 10

#### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$[w_r = k \cdot C_A^0], \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 10 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,5; \quad k = 2,0.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

#### Задание 2

Определите объем

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,94$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = 2,0 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 10 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

#### Задание 3

В реакторе

а) РИС–Н;

б) РИВ–Н,

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 80% равновесной, если объемный расход  $\nu = 2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,20 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,30 \text{ ч}^{-1}$ .

#### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

а) РИС–Н; б) РИВ–Н,

объемом  $1,4 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 2,0 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 12 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,2 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 2 \cdot C_A^{1,2}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 2,0 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 3 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,6 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,9$ , если объемный расход  $\nu = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,40 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 4,0$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,9$ ,  $C_{A,0} = 14 \text{ (кмоль/м}^3)$ . Определить (графически и аналитически), сколько времени потребуется для проведения реакции в каскаде РИС–Н, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,5 \text{ часа}$  ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

## Вариант 11

### Задание 1

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^0, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 1 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,4; \quad k = 1,1.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

### Задание 2

Определите объем а) РИС–Н; б) РИВ–Н, необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,4$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = 1,1 \text{ кмоль/м}^3$ ,  $k = 1 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ , реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 11 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Задание 3

В реакторе а) РИС–Н; б) РИВ–Н, проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для достижения степени превращения, составляющей 71% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k_1 = 0,11 \text{ ч}^{-1}$ ,  $k_2 = 0,21 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 4

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из а) РИС–Н; б) РИВ–Н, объемом  $0,5 \text{ м}^3$  при проведении реакции  $A+B \rightarrow R+S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,1 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход  $\nu = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ , константа скорости  $k = 11 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{ч})$ .

### Задание 5

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,1 \text{ м}^3$ , если для проведения реакции  $A \rightarrow R+S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,1}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,1 \text{ кмоль/м}^3$  и объемным расходом  $\nu = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  (графическим методом).

### Задание 6

В каскаде РИС равного объема ( $V_i = 1,1 \text{ м}^3$ ) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (аналитически) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,9$ , если объемный расход  $\nu = 1,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $k = 0,31 \text{ ч}^{-1}$ .

### Задание 7

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$

( $k = 3,1$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,81$ ,  $C_{A,0} = 5$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (**графически и аналитически**), сколько времени потребуется для проведения реакции в **каскаде РИС–Н**, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,3$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### **Вариант 12**

#### **Задание 1**

Какой реактор (РИС–Н или РИВ–Н) наиболее экономически целесообразно применять в случае протекания реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$w_r = k \cdot C_A^1, \quad \text{если} \quad C_{A,0} = 2 \text{ кмоль/м}^3; \quad X_A = 0,5; \quad k = 1,2.$$

Привести сравнительную характеристику реакторов (постройте характеристические графики изменения параметров процесса:  $C_A$ ,  $w_A$ ,  $X_A$ ) для РИС–Н и РИВ–Н.

#### **Задание 2**

Определите объем

**а) РИС–Н;**

**б) РИВ–Н,**

необходимый для достижения степени превращения исходного реагента  $X_A = 0,5$  при проведении реакции  $2A \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = 1,2$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $k = 2$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч), реагенты подают в реактор с объемным расходом  $\nu = 12$  м<sup>3</sup>/ч.

#### **Задание 3**

В реакторе

**а) РИС–Н;**

**б) РИВ–Н,**

проводят обратимую реакцию  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ . Определите объем реактора, необходимый для

достижения степени превращения, составляющей 72% равновесной, если объемный расход  $\nu = 1,2$  м<sup>3</sup>/ч,  $k_1 = 0,12$  ч<sup>-1</sup>,  $k_2 = 0,22$  ч<sup>-1</sup>.

#### **Задание 4**

Определите степени превращения реагентов  $A$  и  $B$  на выходе из

**а) РИС–Н;**

**б) РИВ–Н,**

объемом  $0,6$  м<sup>3</sup> при проведении реакции  $A + B \rightarrow R + S$ , если  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,2$  кмоль/м<sup>3</sup>, объемный расход  $\nu = 6$  м<sup>3</sup>/ч, константа скорости  $k = 12$  м<sup>3</sup>/(кмоль·ч).

#### **Задание 5**

Определите концентрацию реагента  $A$  на выходе из проточного реактора идеального смешения объемом  $1,2$  м<sup>3</sup>, если для проведения реакции  $A \rightarrow R + S$ , кинетика которой описывается уравнением  $w_{rA} = 3 \cdot C_A^{1,2}$ , подают реагент  $A$  с начальной концентрацией  $C_{A,0} = 1,2$  кмоль/м<sup>3</sup> и объемным расходом  $\nu = 2$  м<sup>3</sup>/ч (графическим методом).

#### **Задание 6**

В **каскаде РИС** равного объема ( $V_i = 1,2$  м<sup>3</sup>) проводят реакцию первого порядка  $A \rightarrow R$ . Определите (**аналитически**) число секций каскада для достижения степени превращения  $X_A = 0,91$ , если объемный расход  $\nu = 1,2$  м<sup>3</sup>/ч,  $k = 0,32$  ч<sup>-1</sup>.

#### **Задание 7**

Дана реакция второго порядка  $2A \rightarrow R$ , кинетическое уравнение  $w_{rA} = k \cdot C_A^2$  ( $k = 3,2$ ), конечная степень превращения  $X_A = 0,82$ ,  $C_{A,0} = 6$  (кмоль/м<sup>3</sup>). Определить (**графически и аналитически**), сколько времени потребуется для проведения реакции в **каскаде РИС–Н**, где все секции каскада имеют одинаковый объем ( $V_1 = V_2 = \dots = V_n$ ), что среднее время пребывания в каждой из них равно  $\tau_i = 0,4$  часа ( $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$ ).

### **Критерии оценки**

Для очной формы обучения (семестр 3), для очно-заочной формы обучения (семестр 4):  
- минимально 9, максимально 15 баллов за РГР.

за 1 неправильный ответ снимается 2 балла;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический  
Кафедра нефтехимического синтеза*

**Комплект вопросов к экзамену**  
по дисциплине Б1.О.25 «Теория химико-технологических процессов»

**Семестр 4(очная ф.о.), 5(очно-заочная), 5 / 4 (заочная / з.ВО ф.о.)**

1. Селективность и степень превращения исходного сырья. Влияние основных параметров технологического процесса на степень превращения исходного сырья.
2. Чему равна селективность процесса, если подано 10 кмоль сырья, степень его превращения 0,5, а целевого продукта образовалось 4 кмоль.
3. Расходные коэффициенты. Взаимосвязь расходных коэффициентов. Методы снижения расходных коэффициентов, рецикл сырья.
4. Чему равен практический расходный коэффициент, если теоретический составляет 0,74, конверсия 0,99, селективность 0,93, количество примесей 0,05.
1. Выход целевого продукта. Выход целевого продукта на превращенное и поданное сырье.
5. Чему равна степень превращения, если выход целевого продукта 0,9. Превратилось 10 кмоль сырья, при этом образовалось 8 кмоль целевого продукта.
6. Принцип Ле-Шателье. Методы смещения равновесия в сторону продуктов реакции.
7. Записать константу равновесия для реакции:  $2 \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
8. Определить: количество подаваемого воздуха; количество исходных веществ и продуктов реакции; расходные коэффициенты по сырью:  
 $\text{CH}_3\text{OH} + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ; Целевая реакция  
 $\text{CH}_3\text{OH} + 1,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ; Побочная реакция  
При каталитическом окислении метанола кислородом воздуха на серебряном катализаторе образуется 300 кг формальдегида. Селективность процесса 80%, степень превращения метанола 90%. Технический метанол содержит 10% диметилового эфира.
9. Равновесие химических реакций. Признаки устойчивого равновесия химического процесса. Константы равновесия.
10. Взаимосвязь константы равновесия  $K_c$  и  $K_p$ .
11. Определить: количество превращенной воды; расходные коэффициенты по сырью:  
 $i\text{-C}_4\text{H}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$  (ТМК) Целевая реакция  
 $2 i\text{-C}_4\text{H}_8 \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{16}$  (димер изобутилена) Побочная реакция  
При гидратации изобутилена образуется 120 кг триметилкарбинола. Селективность процесса 98%, конверсия изобутилена 99%. Мольное соотношение изобутилен: вода равно 1:2.

12. Зависимость константы равновесия от температуры. Уравнение Ван-Гоффа.
13. Для реакции, записать влияние давления на выход этилбензола:  

$$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$$
14. Определить: количество превращенного метанола; образовавшихся димеров; селективность процесса, расходные коэффициенты по сырью:  

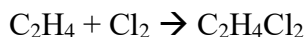
$$\text{i-C}_4\text{H}_8 + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O} \text{ (МТБЭ) Целевая реакция}$$
  

$$2 \text{i-C}_4\text{H}_8 \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{16} \text{ (димер изобутилена) Побочная реакция}$$
  
 При алкилировании метанола изобутиленом образуется 740 кг метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Расходный коэффициент изобутилена 0,9 кг на 1 кг МТБЭ, степень превращения изобутилена равна 1.
15. Основные законы химической кинетики.
16. Графически проиллюстрировать протекание экзотермической химической реакции.
17. Рассчитать константу равновесия и равновесный состав при температуре 650 °С, для реакции дегидрирования 2-метилпентен-1 в 2-метилбутадиен-1,3.
18. Классификация химических реакций. Порядок и молекулярность химической реакции.
19. Для элементарной химической реакции:  

$$2\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$$
  
 записать кинетическое уравнение. Чему равна молекулярность реакции и порядок по реагенту А.
20. Рассчитать константу равновесия и равновесный состав при температуре 300 °С, для реакции изомеризации смеси ксилолов.
21. Основные положения и выводы по теории активированного комплекса.
22. Для реакции, записать влияние давления на выход этилбензола:  

$$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$$
23. Определить: конверсию бензола и селективность по бензолу; кг, кп.  
 Целевая реакция 
$$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$$
  
 Побочная реакция 
$$\text{C}_6\text{H}_6 + 2\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_2$$
  
 При алкилировании бензола этиленом образуется 1000 кг этилбензола и 15 кг диэтилбензола. Для увеличения селективности бензол подается в трехкратном избытке от стехиометрически необходимого. Степень чистоты бензола 98,5% масс. в этилене содержится 2% об. этана.
24. ТЭП ХТП. Расходные коэффициенты теоретические и практические. Взаимосвязь расходных коэффициентов.
25. На реакцию каталитического окисления подано 15 000 кг/ч технического пропилена, его степень превращения 15%, при этом образовалось 1200 кг/ч воды. Определить: объем поданного воздуха, если принять, что в воздухе содержится 20% кислорода, остальное азот; расходные коэффициенты по сырью. Составить массовый материальный баланс.  
 Целевая реакция – окисление пропилена в пропиленоксид: 
$$\text{C}_3\text{H}_6 + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$$
  
 Побочная реакция – полное окисление пропилена: 
$$\text{C}_3\text{H}_6 + 4,5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$$
26. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Присоединение галогенов и галогенводородов к олефинам.
27. Интегральная и дифференциальная селективность.
28. Присоединение по двойной углерод углеродной связи. Присоединение по правилу Марковникова. Присоединение против правила Марковникова.

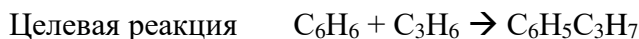
29. На реакцию хлорирования этилена подается 56 кг этилена и 71 кг хлора. Технический хлор содержит 2% масс. азота (примесь), технический этилен содержит 5% об. этана. Определить количество образующегося дихлорэтана, степень превращения этилена, расходные коэффициенты по сырью.



30. Графически проиллюстрировать протекание экзотермической химической реакции.

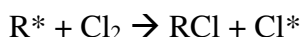
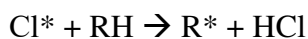
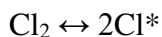
31. Реакции нуклеофильного замещения у насыщенного атома углерода. Замещение по типу  $\text{S}_{\text{N}}2$ .

32. Определить: конверсию бензола и селективность по бензолу;  $k_{\text{T}}$ ,  $k_{\text{П}}$ .

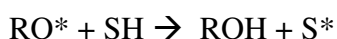
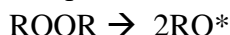


При алкилировании бензола пропиленом образуется 1000 кг изопропилбензола и 15 кг диизопропилбензола. Для увеличения селективности бензол подается в трехкратном избытке от стехиометрически необходимого. Степень чистоты бензола 98,5% масс.

33. Вывести кинетическое уравнение расходования углеводорода:



34. Вывести кинетическое уравнение расходования перекиси для представленного механизма:



### Критерии оценки:

Для очной формы обучения (семестр 5), для очно-заочной (семестр 6), заочной / з. СПО, / з.ВО форм обучения (семестр 6 /6 /5):

Баллы	Оценка
0-23	«неудовлетворительно» (2)
24-28	«удовлетворительно» (3)
29-34	«хорошо» (4)
35-40	«отлично» (5)

- минимально 24, максимально 40 баллов за экзамен (если все ответы правильные); за 1 неправильный ответ снимается минимум 2 балла;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
 высшего образования  
 «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет технологический*  
*Кафедра нефтехимического синтеза*

**Критерии оценки по дисциплине в баллах**

При оценке результатов деятельности студентов в рамках дисциплины «Б1.О.25 Теория химико-технологических процессов» используется рейтинговая система. Рейтинговая оценка формируется на основании текущего и промежуточного контроля. Максимальный балл выставляется за принципиально правильный и полный подход к решению задач учебной практики, грамотное изложение и оформление полученных результатов, широту ответов на все поставленные вопросы.

Минимальный балл отражает принципиально правильный подход студента к решению отдельных задач с учетом полноты ответов на поставленные в задачах вопросы, допущенных неточностей и ошибок.

Шкала перевода итогового рейтингового балла  $R_{\text{дс}}$  (для зачета):

Интервал баллов рейтинга	Оценка
$0 \leq R_{\text{дс}} < 60$	«не зачтено»
$60 \leq R_{\text{дс}} < 100$	«зачтено»

Шкала перевода итогового рейтингового балла  $R_{\text{дс}}$  (для экзамена):

Интервал баллов рейтинга	Оценка
$0 \leq R_{\text{дс}} < 60$	«неудовлетворительно» (2)
$60 \leq R_{\text{дс}} < 73$	«удовлетворительно» (3)
$73 \leq R_{\text{дс}} < 87$	«хорошо» (4)
$87 \leq R_{\text{дс}} \leq 100$	«отлично» (5)

**Критерии оценки ответа студента на экзамене**

Характеристика ответа	Баллы
Задача решена. Дан полный, развернутый ответ на поставленные вопросы. Ответ формулируется в терминах науки, изложен литературным языком, логичен, доказателен, демонстрирует авторскую позицию студента.	40-38
Задача решена. Дан полный, но недостаточно последовательный ответ на поставленный вопрос, но при этом показано умение выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Ответ логичен и изложен в терминах науки. Могут быть допущены 1–2 ошибки в определении основных понятий, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.	37-35

<p>Задача решена. Дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Студент может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.</p>	34-29
<p>Задача не решена. Дан неполный ответ, логика и последовательность изложения имеют существенные нарушения. Допущены грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений, вследствие непонимания студентом их существенных и несущественных признаков и связей. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть конкретные проявления обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции.</p>	28-24
<p>Задача не решена. Дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины. Не получены ответы по базовым вопросам дисциплины.</p>	23-0