

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**Химико-технологические системы**

по направлению подготовки

**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Промышленная и специальная робототехника**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Е.И. Борзенко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-5 Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности;

ПК-1 Способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-5.1 Знает методику учета современных тенденций развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности

РООПК-5.2 Умеет учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности

РОПК 1.1 Знает основные законы, описывающие функционирование проектируемых объектов.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- задачи;
- устный опрос.

**Перечень задач (выполняются в аудитории на практическом занятии, проверяются РООПК-5.1, РООПК-5.2, РОПК 1.1):**

**Задача 1. Получить критериальное уравнение методом анализа размерностей (алгебраическим методом Рэлея) для конкретного физического процесса.**

Каждому студенту предлагается отдельный физический процесс:

- гравитационное осаждение шарика в неподвижной среде
- движение твердой частицы в потоке воздуха
- прыжок парашютиста
- режим течения вязкой жидкости
- гидродинамическое сопротивление
- движение газа под действием градиента давления
- слив жидкости из резервуара
- вращение жидкости в сосуде
- падение дождевой капли
- всплытие пузырька газа в вязкой жидкости
- движение капли в потоке воздуха
- процесс каплеобразования в капилляре
- устойчивость вращающейся капли
- точечный взрыв в атмосфере
- падение спускаемой капсулы космического аппарата в океан
- падение тяжелого метеорита
- соударение снаряда с преградой
- сила сопротивления при движении судна
- время тепловой релаксации шара
- измерение температуры среды термопарой
- внедрение нагретого шарика в плавящуюся подложку
- нагрев спускаемой капсулы космического аппарата в атмосфере

– движение твердого тела по инерции

Критерии оценивания:

Задача решена, если получено верное критериальное уравнение.

**Задача 2. Решить цикл задач по гидромеханике неоднородных систем.**

**2.1 Определить скорость осаждения сферических частиц диаметром  $D$  из материала  $\rho_p$  при температуре  $T$  в заданной среде.**

**Варианты начальных условий:**

**а)  $D=6.7$  мм,  $\rho_p=7753$  кг/м<sup>3</sup>,  $T=22$  °С, ПМС-10000 ( $\rho=970$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu=11$  Па·с)**

**б)  $D=15.1$  мм,  $\rho_p=7753$  кг/м<sup>3</sup>,  $T=21$  °С, глицерин ( $\rho=1265$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu=1.1$  Па·с)**

**в)  $D=0.1$  мм,  $\rho_p=2400$  кг/м<sup>3</sup>,  $T=20$  °С, воздух ( $\rho=1.21$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu=0.0185 \cdot 10^{-3}$  Па·с)**

**г)  $D=0.1$  мм,  $\rho_p=2400$  кг/м<sup>3</sup>,  $T=20$  °С, вода ( $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu=10^{-3}$  Па·с)**

Ответы:

а) 0.015 м/с

б) 0.46 м/с

в) 0.489 м/с

г) 0.00705 м/с

**2.2 Определить наибольший диаметр частиц кварца сферической формы, для которых применима формула Стокса в условиях осаждения в воде при 20 °С. Найти также скорость осаждения такой частицы.**

Ответ: 61.4 мкм

**2.3 Определить диаметр наибольших сферических частиц мела, которые будут уноситься восходящим потоком воды; скорость потока 0.5 м/с, температура 10 °С.**

Ответ: 6.03 мм

**2.4 Вычислить скорость осаждения в воде при 30 °С частиц свинцового блеска угловатой формы с эквивалентным диаметром  $d_0=1$  мм. Плотность свинцового блеска 7560 кг/м<sup>3</sup>.**

Ответ: 0.287 м/с

**2.5 Определить эквивалентные диаметры продолговатых частиц каменного угля и плоских частиц сланца ( $\rho_{сл}=2200$  кг/м<sup>3</sup>), осаждающихся с одинаковой скоростью  $u_{ос}=0.1$  м/с в воде при 20 °С.**

Ответ:  $2.82 \cdot 10^{-3}$  м и  $1.81 \cdot 10^{-3}$  м

**2.6 Каково должно быть расстояние между горизонтальными полками пылеосадительной камеры (рис. 2.2), чтобы успевали осаждаться частицы колчеданной пыли диаметром  $8 \cdot 10^{-6}$  м из потока печного газа, расход которого составляет 0.6 м<sup>3</sup>/с (при нормальных условиях), температура 427 °С, вязкость  $0.034 \cdot 10^{-3}$  Па·с и плотность 0.5 кг/м<sup>3</sup>. Плотность колчедана 4000 кг/м<sup>3</sup>. Размеры рабочего объема камеры: длина 4.1 м, ширина 2.8 м и общая высота 4.2 м.**

Ответ: 0.064 м

**2.7 Определить диаметр отстойника (рис. 2.3) для непрерывного осаждения частиц мела в воде при 15 °С. Производительность отстойника 80 т/ч начальной суспензии, массовая доля мела в которой 8%. Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, составляет 0.035 мм. Влажность образующегося шлама 70 %.**

Ответ: 7.7 м

**2.8 Определить диаметр шарообразных частиц кварцевого песка плотностью 2640 кг/м<sup>3</sup>, слой которых будет переходить во взвешенное состояние при скорости воздуха 1 м/с. Температура воздуха 20 °С. Определить также скорость уноса частиц из псевдооживленного слоя.**

Ответ: 0.0021 м и 12.2 м/с

Критерии оценивания:

Результаты решения цикла задач определяются критерием «зачтено» или «не зачтено». Для получения отметки «зачтено» студент должен решить правильно не менее пяти задач из восьми.

**Задача 3. Решить цикл задач по теме "Последовательная технологическая связь"**

**3.1 Рассчитать концентрацию исходного вещества на выходе из  $i$ -го реактора и суммарную степень превращения для батареи из 5 реакторов. На входе в 1-ый реактор  $C_0=1$ , а степень превращения в каждом реакторе одинакова и равна  $x_i=0.6$ .**

Ответ:

№ ступени	1	2	3	4	5
$C_i$	0.4	0.16	0.064	0.026	0.01
$x_n$	0.6	0.84	0.936	0.974	0.99

**3.2 Рассчитать концентрацию исходного вещества на выходе из  $i$ -го реактора и суммарную степень превращения для батареи из 4 реакторов. На входе в 1-ый реактор  $C_0=1$ , а степень превращения в каждом реакторе одинакова и равна  $x_i=0.7$ .**

Ответ:

№ ступени	1	2	3	4
$C_i$	0.3	0.09	0.027	0.0081
$x_n$	0.7	0.91	0.973	0.99

**3.3 Рассчитать требуемое число реакторов  $n$  в батарее при заданном расходе  $Q$  и объеме реакторов  $V$  (при одинаковом времени пребывания  $\tau$  реагентов в каждом из реакторов):**

а)  $V=0.2 \text{ м}^3$ ,  $\tau=8.3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ,  $Q=0.01 \text{ м}^3/\text{мин}$

а)  $V=20 \text{ м}^3$ ,  $\tau=2.5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ,  $Q=0.5 \text{ м}^3/\text{мин}$

в)  $V=10 \text{ м}^3$ ,  $\tau=1.66 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ,  $Q=0.2 \text{ м}^3/\text{мин}$

г)  $V=0.3 \text{ м}^3$ ,  $\tau=0.2 \text{ с}$ ,  $Q=0.45 \text{ м}^3/\text{мин}$

Ответ:

а) 10

б) 6

в) 5

г) 8

**3.4 Нарисовать с помощью технологических связей операторную схему дизельного двигателя**

Ответ: возможны несколько правильных ответов; необходимо верно применить операторы и объяснить их применение

Критерии оценивания:

Результаты решения цикла задач определяются критерием «зачтено» или «не зачтено». Для получения отметки «зачтено» студент должен решить не менее 3-х задач из 4-х.

**Задача 4. Определить константы химической кинетики в соответствии с ниже приведенным алгоритмом:**

- Измеряется зависимость времени задержки воспламенения  $t_{ign}$  от поверхностной плотности теплового потока  $q$  и по формуле (3) рассчитываются значения масштабной температуры  $T_{*i}$  для каждой экспериментальной точки, а также рассчитываются соответствующие значения  $Y_i$  (табл. 1).

**Таблица 1**

$i$	1	2	...	$n$
$q_i$	$q_1$	$q_2$	...	$q_n$
$t_{ign}$	$t_{ign,1}$	$t_{ign,2}$	...	$t_{ign,n}$
$T_{*}$	$T_{*1}$	$T_{*2}$	...	$T_{*n}$
$Y_i$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_n$
$X_i$	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$

- По данным таблицы 1 наносятся экспериментальные точки на график  $Y(X)$  и проводится их аппроксимация в виде линейной зависимости.
- По наклону полученной прямой находится значение коэффициента  $a$ , и, соответственно, энергии активации  $E = a \cdot R$ .
- По координатам точки пересечения аппроксимирующей прямой с осью абсцисс ( $X = X_0$ ,  $Y = 0$ ) определяется произведение  $Q \cdot z$ :

$$Q \cdot z = \exp \left[ \ln \left( \frac{0.36E \cdot c}{R} \right) + \frac{E}{RT_{*0}} \right],$$

где  $T_{*0} = X_0^{-1}$ .

**Варианты задания**

Результаты измерения времени задержки зажигания  $t_{ign}$  (мс) исследованных образцов в зависимости от плотности теплового потока  $q$  (Вт/см<sup>2</sup>), осредненные по трем дублирующим экспериментам, приведены в таблице.

Таблица. Времена задержки зажигания исследованных образцов

$q$ , Вт/см <sup>2</sup>	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
59.8	137	165	119	110	122	143	137	108	105
59.9	157	139	125	126	170	148	140	113	134
60.4	174	164	124	101	124	138	136	82	109
92.2	88	69	58	69	67	73	59	43	64
93.2	83	62	78	62	75	76	79	60	55
141.5	42	46	35	37	34	48	45	25	37
141.8	48	48	34	31	40	50	39	25	39
164.7	45	42	29	36	37	36	36	23	31
200.2	26.4	24	16	21.2	26	24.8	26.8	13.6	20.8
201.4	28.8	31.2	21.2	16	24	26.8	21.8	14	20.2

Критерии оценивания:

Задача решена, если получен верный ответ.

**Задача 5. Решить цикл задач по устойчивости положения равновесия.**

**5.1 Безразмерные уравнения материального и теплового балансов для реактора имеет вид:**

$$\frac{dx}{d\tau} = -x \exp\left(-\frac{1}{y}\right) + \lambda(x_0 - x) = P(x, y)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = x \exp\left(-\frac{1}{y}\right) + \mu(y_0 - y) = Q(x, y)$$

**Определить количество стационарных состояний реактора, если**

**а)  $\lambda=0.2$**

**$x_0=1$**

**$\mu=0.2$**

**$y_0=0.15$**

**б)  $\lambda=0.2$**

**$x_0=1$**

**$\mu=0.2$**

**$y_0=0.2$**

**в)  $\lambda=0.2$**

**$x_0=1$**

**$\mu=0.2$**

**$y_0=0.06$**

**г)  $\lambda=0.2$**

**$x_0=0.2$**

**$\mu=0.2$**

**$y_0=0.15$**

**д)  $\lambda=0.1$**

**$x_0=1$**

**$\mu=1$**

**$y_0=1$**

Ответы:

а) три стационарных состояния : (1;0.16), (0.9; 0.3), (0.45; 0.7)

б) одно стационарное состояние : (0.45; 0.8)

в) одно стационарное состояние : (1; 0.06)

г) одно стационарное состояние : (0.2; 0.15)

д) одно стационарное состояние : (0.7; 1.3)

**5.2 Определить тип положения равновесия и исследовать его устойчивость**

$$\frac{dx}{d\tau} = -x^2 + y - x - 1$$

$$\frac{dy}{d\tau} = x^2 - 1.5y + 0.2$$

Ответ: положение равновесия – узел; устойчиво.

Критерии оценивания:

Результаты решения цикла задач определяются критерием «зачтено» или «не зачтено». Для получения отметки «зачтено» необходимо решить все задачи.

**Устный опрос (выполняются в аудитории после изучения теоретического материала и закрепления его на практике, проверяются РООПК-5.1, РООПК-5.2, РОПК 1.1):**

Студентам необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Основные принципы математического и физического моделирования.
2. Сущность метода анализа размерностей.
3. Основные критерии подобия при анализе ХТС.
4. Критериальные уравнения и способ их получения.
5. Способы изображения схем ХТС.
6. Основные типы технологических связей.
7. Основные элементы математической модели ХТП.
8. Типы химических реакторов.
9. Температурный режим реакторов.
10. Основные понятия химической кинетики.
11. Уравнения неизотермических реакторов идеального смешения.
12. Понятие устойчивости динамических систем, метод Ляпунова.
13. Типы и устойчивость положения равновесия систем второго порядка.
14. Устойчивость химических реакторов.
15. Структура АСУ ХТП.

Критерии оценивания:

Результаты устного опроса оцениваются на «зачтено», если студент дал правильный ответ (допускается незначительные неточности), в обратном случае ставится оценка «незачтено».

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета в письменном виде по билету. Билет состоит из двух теоретических вопросов, проверяющих РООПК-5.1, РООПК-5.2, РОПК 1.1.

Перечень первых теоретических вопросов:

1. Понятие физической и математической модели. Понятие о физическом моделировании, его основные этапы, преимущества и недостатки.
2. Понятие о математическом моделировании. Принципы и подходы к построению математической модели.
3. Иерархия уровней математических моделей. Понятие о численных методах решения задач математической физики.
4. Модели течения сплошных сред применительно к пневмо- и гидроприводам ХТС. Гидравлический подход. Течения идеального сжимаемого газа (уравнения Эйлера). Ламинарные вязкие течения (уравнения Навье–Стокса). Турбулентные течения (уравнения Рейнольдса). Приближение пограничного слоя (уравнения Прандтля).
5. Подходы к моделированию многофазных течений и течений с химическими реакциями. Связь физического и математического моделирования.

6. Третья теорема подобия (теорема Кирпичева–Гухмана). Понятие о критериях подобия, их роль в исследовании физических процессов. Подобие явлений и систем. Метод анализа размерностей.

7. Алгоритмы получения критериев подобия. Алгебраический метод Рэлея. Метод анализа дифференциальных уравнений. Понятие о критериальных уравнениях. Основные критерии подобия при исследовании систем.

8. Химическое производство как сложная система. Структура ХТС.

9. Схемы химико-технологических процессов. Схема с открытой цепью. Циклическая схема. Комбинированные схемы. Способы изображения схем ХТС.

10. Функциональная схема ХТС. Технологическая схема ХТС. Структурная схема ХТС. Операторная схема ХТС.

11. Технологические связи. Последовательная технологическая связь. Последовательно-обводная технологическая связь. Параллельная технологическая связь. Обратная технологическая связь. Перекрестная технологическая связь.

12. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Элементы полной математической модели типового процесса. Операторы как основа построения математической модели типовых процессов.

13. Основные понятия химической кинетики. Уравнения изотермических реакторов идеального смешения.

14. Изотермические РИС непрерывного действия.

15. Упрощенные математические модели реакторов.

Перечень вторых теоретических вопросов:

1. Структура автоматизированной системы управления. Классификация автоматизированных систем управления. Входная информация АСУ ХТП.

2. Основные классы АСУ ХТП. Обыкновенные автоматизированные системы управления.

3. Разомкнутые схемы АСУ. Замкнутые схемы АСУ. Стабилизирующая замкнутая АСУ. Замкнутая система с программным регулированием. Следящая замкнутая АСУ. Самонастраивающиеся автоматизированные системы управления.

4. Системы экстремального управления. Системы с самонастраивающимися корректирующими контурами. Самонастраивающиеся АСУ с автоматическим поиском оптимальных режимов работы. Игровые автоматизированные системы управления.

5. Устойчивость изотермических реакторов. Реакция типа  $X \rightarrow Y$ .

6. Устойчивость изотермических реакторов. Реакция типа  $2X \rightarrow Y$ .

7. Устойчивость изотермических реакторов. Обратимая реакция типа  $2X \rightleftharpoons Y$ .

8. Устойчивость изотермических реакторов. Реакция типа  $X + Y \rightarrow M$ .

9. Устойчивость неизотермических реакторов идеального смешения.

10. Реактор периодического действия. Реакторы полупериодического действия. Реактор непрерывного действия. Реакция нулевого порядка.

11. Устойчивость химико-технологических систем в целом.

12. Основные способы исследования стационарных состояний реакторов. Метод главных изоклин. Метод тепловых диаграмм. Бифуркационная диаграмма. Число стационарных состояний реактора.

13. Основные понятия об устойчивости динамических систем. Качественные методы исследования дифференциальных уравнений. Фазовое пространство.

14. Первый метод Ляпунова (устойчивость в малом). Положения равновесия динамических систем. Изоклины и интегральные кривые.

15. Типы и устойчивость положения равновесия систем второго порядка (узел, фокус, седло, центр).

Критерии оценивания:

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если даны правильные, развернутые ответы на все вопросы в билете.

Оценка «хорошо» выставляется, если студент владеет знаниями дисциплины почти в полном объеме программы; при наводящих вопросах дает самостоятельные ответы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент владеет основным объемом знаний по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент не освоил обязательного минимума знаний предмета, не способен ответить на вопросы билета даже при дополнительных наводящих вопросах экзаменатора.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

Тестирование проверяет РООПК-5.1, РООПК-5.2, РОПК 1.1

##### **ТЕСТ ПЕРВЫЙ:**

1. Что является объектом исследования при математическом моделировании?
  - А. какой-то конкретный предмет или явление, существующее в окружающем нас мире и не зависящее от влияния на него человека
  - Б. определённая реальность, на которую направлено исследование
  - В. физическая модель (увеличенная или уменьшенная), допускающая исследование в лабораторных условиях
  - Г. уравнения, от простейших алгебраических до сложных систем нелинейных дифференциальных, интегральных или интегро-дифференциальных уравнений
2. Какой из ниже приведенных подходов наиболее приемлем для математического моделирования ХТС?
  - А. детерминированный подход
  - Б. метод "черного ящика" (метод Бокса)
3. Какой из ниже приведенных подходов является наиболее плодотворным при моделировании ХТС?
  - А. физическое моделирование
  - Б. математическое моделирование
  - В. комплексный подход (физическое и математическое моделирование)
4. Выберите верное утверждение.
  - А. При физическом моделировании модельный объект мало отличается от реального объекта.
  - Б. Физико-математическая модель объекта должна адекватно отражать основные свойства объекта и включать тщательно обоснованные допущения
  - В. Успешность математического моделирования ХТС определяется производительностью используемых ЭВМ
5. Верно ли утверждение?

Математическое моделирование ХТС основывается на выполнении всех условий полного подобия.

Выберите один ответ:

А. Верно

Б. Неверно

6. Соотнесите понятие и его описание.

Симплекс, комплекс, критерий подобия

А. это симплекс или безразмерный комплекс (иногда его называют инвариант подобия), численное значение которого одинаково для модели и натурального объекта

Б. это отношение одноименных (однородных величин), которые могут быть геометрическими, физическими или другими

В. это безразмерная величина, составленная из разнородных величин с разной размерностью, описывающих процесс или систему

7. Составьте верное утверждение.

Основные , описывающие исследуемый процесс, можно получить двумя способами – с помощью метода анализа  и путем анализа  уравнений.

критерии подобия  размерностей  дифференциальных  интегральных  величин  комплексы

8. Соотнесите гидродинамическую модель и ее описание.

Турбулентные течения, гидродинамический подход, течения сжимаемого идеального газа.

А. имеет место нерегулярное, беспорядочное изменение скорости и других параметров потока, как по величине, так и по направлению; проводится статистическое осреднение во времени и по отношению к группе частиц жидкости

Б. применим для описания течения капельных жидкостей, а также газов при малых скоростях движения ( $\rho = \text{const}$ ,  $\mu = 0$ )

В. в рамках данного подхода газ считается невязким, нетеплопроводным и имеющим постоянные значения удельных теплоемкостей

9. Закончите предложение:

Траекторный подход состоит в том, что

А. не учитывается влияние частиц на параметры газового потока

Б. вводится понятие многоскоростной многотемпературной среды

В. в каждой точке среды имеется столько скоростей и температур, из какого количества фаз состоит среда

10. Какое уравнение в механике сплошных сред является полной моделью четвертого уровня?

А. уравнение Эйлера

Б. уравнение Навье-Стокса

В. уравнение Прандтля

Г. уравнение Рейнольдса

## ТЕСТ ВТОРОЙ

1. Что называется конструкционными параметрами ХТС?

А. последовательное описание или изображение химико-технологических процессов и соответствующих им аппаратов.

Б. совокупность параметров внутри элемента, влияющих на скорость технологического процесса, выход и качество продукции.

В. геометрические характеристики элементов системы (объем, диаметр, высота реактора и т.д.)

2. Соотнесите схему технологического процесса и ее описание.

1. состоит из аппаратов, через которые все реагирующие компоненты проходят лишь один раз.

2. заключаются в том, что одна из реагирующих фаз проходит последовательно ряд аппаратов и оставшаяся ее часть выбрасывается, а вторая фаза циркулирует через некоторые аппараты схемы.

3. предусматривает многократное возвращение в один и тот же аппарат всех реагирующих масс или одной из фаз в гетерогенном процессе вплоть до достижения заданной степени превращения исходных веществ.

А. Комбинированные схемы

Б. Схема с открытой цепью

В. Циклическая схема

3. Выберите верное утверждение.

А. Функциональная схема ХТС включает элементы химико-технологической системы в виде блоков, имеющих входы и выходы.

Б. Функциональная схема ХТС построена таким образом, что каждый элемент ХТС представляет собой совокупность нескольких типов технологических операторов или отдельных типовых технологических операторов.

В. Функциональная схема ХТС дает представление о функционировании системы в целом.

4. Составьте верные утверждения:

Типовые технологические операторы делятся на  и вспомогательные. Основные операторы

обеспечивают   функционирование

ХТС.  технологические операторы оказывают влияние только на   и фазовые состояния системы.

основные  целевое  Вспомогательные  энергетические  тепловые  гидродинамические  Ос  
 новные

5. Соотнесите тип технологической связи и его описание.

1. характеризуется тем, операторы химического превращения соединены последовательно (батарея реакторов), но сырье, поступившее на переработку, разделяется на два потока.

2. характеризуется тем, что выходящий из данного элемента поток является входящим для последующего элемента. При этом все технологические потоки пребывают в элементе только один раз (то есть не возвращаются в него).

3. заключается в том, что имеется обратный технологический поток, который связывает выходной поток какого-либо последующего элемента ХТС с входом одного из предыдущих элементов.

4. характеризуется тем, что поток реагентов разделяется на ряд параллельных потоков, каждый из которых поступает в соответствующий реактор.

А. Параллельная технологическая связь

Б. Обратная технологическая связь

В. Последовательная технологическая связь

Г. Последовательно-обводная технологическая связь

6. Какие требования предъявляются к реакторам? (два правильных ответа)

А. Постоянная начальная концентрация исходного сырья.

Б. Устойчивость работы.

В. Интенсивность работы

Г. Нестационарный режим работы.

7. Дайте определение реактора идеального вытеснения.

А. это реактор, в объеме которого параметры всех частиц однородны. Это может достигаться как быстрым перемешиванием за счет диффузии или конвекции, так и принудительным перемешиванием реагентов внутри реактора (например, при помощи мешалки).

Б. это реактор, в котором полагается, что каждый объем потока движется в заданном направлении без продольного перемешивания с соседними объемами и полностью вытесняет находящиеся впереди элементы потока; при этом происходит полное перемешивание в поперечном направлении (перпендикулярном оси потока).

В. это реактор, работа которого характеризуется разбиением потока на ряд последовательно соединенных ячеек.

8. Что такое теплопроводность?

А. это электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет энергии теплового движения атомов и молекул излучающего тела.

Б. это перенос теплоты за счет макроперемешивания, создаваемого в объеме газа или жидкости под воздействием внешних сил.

В. это перенос внутренней энергии в форме теплоты, который осуществляется в процессе передачи энергии от частиц (молекул, атомов, ионов, электронов), обладающих большей энергией, частицам с меньшей энергией в условиях их хаотического движения, сопровождающегося взаимными столкновениями.

9. Верно ли утверждение?

Простая химическая реакция протекает в одном направлении и в один этап.

Выберите один ответ:

А. Верно

Б. Неверно

10. Составьте верное утверждение:

К  относятся  реакции (одновременно протекающие в двух противоположных направлениях).

сложным  обратимые  простым  тепловые

Критерии оценивания: тест считается пройденным, если обучающийся ответил правильно как минимум на половину вопросов.

### Информация о разработчика

Архипов Владимир Афанасьевич, д.ф.-м.н., профессор, Физико-технический факультет Томского государственного университета, профессор кафедры прикладной газовой динамики и горения

Усанина Анна Сергеевна, к.ф.-м.н., доцент, Физико-технический факультет Томского государственного университета, доцент кафедры динамики полета