

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
по дисциплине
Общая химическая технология

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

Направленность (профиль) Основной органический и нефтехимический синтез

Ставрополь, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Цель и задачи освоения дисциплины.

Целями освоения дисциплины «Общая химическая технология» являются:

- познакомить студентов с теоретическими основами типовых химико-технологических процессов;
- большое внимание уделяется математическому моделированию и анализу химико-технологических систем;
- на конкретных примерах отдельных производств рассматриваются общие научные принципы и закономерности химической технологии.

Задачи освоения дисциплины:

- развитие навыков расчета химико-технологических процессов;
- развитие навыков анализа и моделирования.

При подготовке к практическим занятиям необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы аспирант сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов.

Теоретические вопросы для подготовки к практическим занятиям:

Часть 1. Основные закономерности протекания химико-технологических процессов.

На жидкость, находящуюся в состоянии движения или покоя, действуют объемные и поверхностные силы.

Характеристикой интенсивности силы тяжести является удельный вес.

На каждый элемент данного объема жидкости действуют объемные силы.

Характеристикой интенсивности поверхностных сил является напряжение на поверхности.

Уравнение расхода жидкости $Q = wS$; $M = wSp$.

Режим движения жидкости при $Re < 2300$ ламинарный.

Режим движения жидкости при $Re > 10000$ турбулентный.

Критическое значение критерия Рейнольдса 2300

Критерий Рейнольдса:

$$Re = wdp/\mu$$

$$Re = wd/v$$

Потенциал переноса - удельная (отнесенная к единице объема) масса, энергия или количество движения.

В неподвижных средах и в ламинарно движущихся потоках осуществляется молекулярный перенос субстанции.

Первым законом Фика описывается молекулярный перенос массы.

Законом Фурье описывается молекулярный перенос энергии.

Уравнение для молекулярного переноса импульса (с учетом закона внутреннего трения Ньютона):

$$\vec{q}_{mw} = - \mu \overset{\rightarrow}{grad} w$$

$$\vec{q}_{mw} = -\mu \operatorname{grad} (\rho w)/\rho$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока для неустановившегося движения:

$$dp/dt = -\rho \operatorname{div} \vec{w}$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока для установившегося движения:

$$\operatorname{div} \vec{w} \rho = 0$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока в интегральной форме для установившегося движения:

$$\vec{w} \rho S = \text{const}$$

Интегралом дифференциальных уравнений движения Эйлера для установившегося потока является уравнение Бернулли.

Интегралом дифференциальных уравнений равновесия Эйлера для покоящейся жидкости является уравнение гидростатики.

Часть 2. Основы моделирования на примере теории подобия.

Метод решения задач исследования и расчета химико-технологических процессов – теоретический метод (моделирование).

Условия, которые полностью, однозначно характеризуют данное явление – условия однозначности.

Условия однозначности включают: геометрическую форму и размеры системы; физические свойства веществ; начальные условия; граничные условия.

Моделирование - исследование объектов познания на их моделях

Основу теории подобия составляет метод обобщенных переменных

Одним из основных принципов теории подобия является выделение из класса явлений, описываемых общим законом, группы подобных явлений

Подобными называют такие явления, для которых отношение сходственных и характеризующих их величин постоянны.

Геометрическое подобие предполагает, что сходственные размеры модели и натуре параллельны, а их отношение выражается постоянной величиной.

Константа геометрического подобия (масштабный множитель):

$$D_1/D_2 = L_1/L_2 = l_1/l_2 = \dots = a_l = \text{const}$$

Константа временного подобия:

$$T_1/T_2 = \tau_1/\tau_2 = a_\tau = \text{const}$$

Константы физического подобия:

$$\mu_1/\mu_2 = \text{const}, \rho_1/\rho_2 = \text{const}, u_1/u_2 = \text{const}$$

В общем случае константы физического подобия неравны.

Безразмерные числа i , выражающие отношение двух однородных величин в подобных системах называются инвариантами подобия.

В зависимости от соотношения размеров модели и натуре инварианты подобия не изменяются

Инварианты подобия, представляющие собой отношение однородных величин, называют симплексами или параметрическими критериями

Инварианты подобия, представляющие собой отношение разнородных величин, называют критериями подобия

Равенство критериев подобия – единственное количественное условие подобия процессов

Если отношение констант подобия равно 1, оно носит название индикатора подобия

Если константы подобия найдены из условий однозначности, то образованные из них критерии называют определяющими.

Критерий подобия, в который входит искомая величина, называют определяемым.

Обобщенное (критериальное) уравнение:

$$f(K_1, K_2, K_3, \dots) = 0$$

$$K_1 = f(K_2, K_3, \dots)$$

$$K_1 = AK_2^n K_3^m, \dots$$

В основе метода анализа размерностей лежит π -теорема Бекингема.

Критерий гомохронности характеризует неустановившееся состояние процесса:

$$Ho = w\tau/l$$

Критерий Эйлера характеризует влияние перепада гидростатического давления на движение жидкости:

$$Eu = \Delta P / (\rho w^2)$$

$$Eu = P / (\rho w^2)$$

Критерий Рейнольдса характеризует отношение сил инерции к силам трения и определяет режим движения во всех сходственных точках подобных систем:

$$Re = wd\rho/\mu$$

$$Re = wd/\nu$$

Критерий Фруда характеризует влияние сил тяжести на движение жидкости:

$$Fr = w^2/gl$$

Обобщенное критериальное уравнение гидродинамики:

$$f(Ho, Eu, Fr, Re) = 0$$

$$f_1(Ho, Fr, Re) = Eu$$

Мгновенная скорость потока в любой точке аппарата или его модели - поле скоростей в потоке.

Модели гидродинамической структуры потоков - упрощенные теоретические модели движения сред в аппаратах.

Кривая изменения концентрации в потоке на выходе - кривая отклика (выходная кривая).

В аппарате идеального вытеснения частицы потока движутся параллельно друг другу с одинаковой скоростью, поперечное и продольное перемешивание отсутствуют.

В аппарате идеального смешения время пребывания частиц потока распределено неравномерно.

Для модели идеального вытеснения характерным является равномерность скоростей и времени пребывания частиц.

Для модели идеального смешения характерным является равномерность концентраций и температуры по объему.

Параметром, характеризующим ячеечную модель является число ячеек.

Основой диффузионной модели является модель идеального вытеснения, осложненная обратным перемешиванием.

Среднее время пребывания частиц в аппарате идеального вытеснения

$$\tau_{cp} = V_a/Q$$

Продольное перемешивание характеризуют критерием подобия Пекле:

$$Pe_L = wL/D_L$$

Часть 3. Гидравлика.

Гидростатика изучает равновесие жидкостей, находящихся в состоянии относительного покоя.

Основное уравнение гидростатики:

$$z_1 + p_1/(\rho g) = z_2 + p_2/(\rho g)$$

$$z + p/(\rho g) = \text{const}$$

Величину z , характеризующую расстояние данной точки до произвольно выбранной горизонтальной плоскости отсчета называют нивелирной высотой.

Удельную потенциальную энергию положения данной точки над произвольно выбранной плоскостью сравнения характеризует геометрический напор.

Величина $p/(\rho g)$ - гидростатический напор (пьезометрический напор).

Гидростатический напор представляет собой энергию, приходящуюся на единицу веса жидкости, и характеризует удельную потенциальную энергию давления в данной точке. Сумма потенциальных энергий положения и давления в покоящейся жидкости является величиной постоянной.

Сумма потенциальных энергий положения и давления в покоящейся жидкости равна полному гидростатическому напору

«Давление, создаваемое в любой точке покоящейся несжимаемой жидкости, передается во все стороны с одинаковой силой» - закон Паскаля.

Выражение закона Паскаля:

$$p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2)$$

$$\Delta p = \rho g(z_1 - z_2)$$

Пьезометр, вакуумметр – приборы для измерения давления.

Интегрирование дифференциальных уравнений движения идеальной жидкости дает уравнение Бернулли. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости:

$$z + p/(\rho g) + w^2/(2g) = \text{const} = H$$

Общий или гидродинамический напор:

$$[z + p/(\rho g) + w^2/(2g)]$$

Удельная кинетическая энергия в данном сечении (точке) потока или динамический напор

$$w^2/(2g)$$

Уравнение Бернулли выражает энергетический баланс потока.

Уравнение Гагена-Пуазейля:

$$Q = \Delta p \pi d^4 / (128 \mu L)$$

Уравнение Гагена-Пуазейля используется в случае стационарного ламинарного движения несжимаемой жидкости в трубе круглого сечения

Потери давления на трение при ламинарном режиме пропорциональны скорости w .

Потери давления на трение при турбулентном режиме пропорциональны $w^{1,75}$.

Уравнение расхода жидкости при известной средней скорости:

$$Q = w \pi d^2 / 4$$

Диаметр трубопровода при средней скорости жидкости w :

$$d = [4Q / (\pi w)]^{0,5}$$

Среднюю скорость потока измеряют с помощью дроссельных приборов.

К дроссельным приборам относятся диафрагмы, мерные сопла, труба Вентури. По принципу действия насосы подразделяют на объемные и динамические.

В объемных насосах энергия и давление повышаются в результате вытеснения жидкости телами, движущимися возвратно-поступательно или вращательно.

В динамических насосах энергия и давление жидкости повышаются под действием центробежной силы или сил трения

К объемным насосам относятся поршневые, плунжерные, диафрагменные, шестеренные, винтовые

К динамическим насосам относятся центробежные, осевые, струйные, вихревые

Объем жидкости, подаваемый в нагнетательный трубопровод в единицу времени - производительность насоса

Избыточная удельная энергия, сообщаемая насосом единице массы жидкости – напор.

Напор насоса H рассчитывают по уравнению Бернулли.

Полезная мощность насоса N_n , затрачиваемая им на сообщение жидкости энергии:

$$N_n = \rho g Q H$$

Действительная мощность на валу насоса больше полезной мощности

Задачи

1. В трубопроводе диаметром 96*3,5 мм течет вода, расход которой 3,6 м³/ч. Вязкость воды 1*10⁻³ Па*с. Чему равен критерий Рейнольдса?

2. В трубопроводе диаметром $96 \times 3,5$ мм течет вода, расход которой $0,36 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вязкость воды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Чему равен критерий Рейнольдса?
3. В трубопроводе диаметром $96 \times 3,5$ мм течет жидкость, расход которой $3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вязкость воды $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, плотность – $1500 \text{ кг}/\text{м}^3$. Чему равен критерий Рейнольдса?
4. В трубопроводе диаметром 66×3 мм течет вода, расход которой $3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вязкость воды $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Чему равен критерий Рейнольдса?
5. Воздух с температурой 50°C подается вентилятором в установку. Диаметр трубопровода 102×6 мм, плотность воздуха $1,09 \text{ кг}/\text{м}^3$, вязкость $0,02 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. Расход воздуха $0,103 \text{ м}^3/\text{с}$. Определить режим движения воздуха.
6. Воздух с температурой 50°C подается вентилятором в установку. Диаметр трубопровода 102×6 мм, плотность воздуха $1,09 \text{ кг}/\text{м}^3$, вязкость $0,02 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. Расход воздуха $0,003 \text{ м}^3/\text{с}$. Определить режим движения воздуха.
7. Воздух с температурой 50°C подается вентилятором в установку. Диаметр трубопровода 57×6 мм, плотность воздуха $1,09 \text{ кг}/\text{м}^3$, вязкость $0,02 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. Расход воздуха $0,003 \text{ м}^3/\text{с}$. Определить режим движения воздуха.
8. Манометр на трубопроводе, заполненном водой, показывает давление $0,19 \text{ МПа}$. Определить высоту, на какую поднимется жидкость в открытом пьезометре над точкой присоединения манометра.
9. Манометр на трубопроводе, заполненном водой, показывает давление $0,15 \text{ МПа}$. Определить высоту, на какую поднимется жидкость в открытом пьезометре над точкой присоединения манометра.
10. Манометр на трубопроводе, заполненном жидкостью плотностью $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, показывает давление $0,19 \text{ МПа}$. Определить высоту, на какую поднимется жидкость в открытом пьезометре над точкой присоединения манометра.

Часть 4. Тепловые процессы

Процессы, скорость которых определяется скоростью подвода или отвода теплоты, называют тепловыми.

Аппараты, в которых осуществляются тепловые процессы, называют теплообменниками. Явление теплопроводности состоит в том, что перенос теплоты происходит путем непосредственного соприкосновения между микрочастицами

Теплопроводность в подвижных средах при турбулентном режиме движения имеет значение в тонком пограничном слое.

В неподвижных средах и при ламинарном режиме движения при отсутствии излучения теплопроводность единственный способ передачи теплоты.

Процесс распространения энергии с помощью электромагнитных колебаний – это тепловое излучение.

Перенос теплоты вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов жидкости или газа - явление конвекции.

Перенос теплоты от более нагретой среды к менее нагретой через разделяющую их стенку называют теплопередачей.

Вещества, участвующие в теплопередаче, называют теплоносителями.

При стационарном процессе теплопередачи температура изменяется в пространстве, не зависит от времени/

При нестационарном процессе теплопередачи температура изменяется в пространстве, изменяется во времени.

Необходимым условием теплопередачи является неравенство температур.

Геометрическое место всех точек с одинаковой температурой представляет собой изотермическую поверхность

Мерой интенсивности изменения температуры в данной точке является температурный градиент.

Основное уравнение теплопередачи:

$$Q = KF\Delta t_{cp}\tau$$

$$Q = KF\Delta t_{cp}$$

Тепловой поток Q определяют по уравнениям теплового баланса:

$$Q = G_1(H_{1н} - H_{1к}) = G_2(H_{2к} - H_{2н})$$

$$Q = G_1c_1(t_{1н} - t_{1к}) = G_2c_2(t_{2к} - t_{2н})$$

Коэффициент теплопередачи показывает, какое количество теплоты передается от горячего теплоносителя к холодному за 1 с через 1 м² стенки при разности температур между теплоносителями 1 град.

Уравнение теплопроводности плоской стенки при установившемся процессе теплопереноса:

$$Q = \lambda(t_{ст.1} - t_{ст.2})F\tau/\delta$$

$$q = \lambda(t_{ст.1} - t_{ст.2})/\delta$$

Величина λ/δ характеризует тепловую проводимость стенки.

Величина δ/λ характеризует термическое сопротивление стенки.

Для многослойной стенки общее термическое сопротивление равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев.

Расчет скорости теплоотдачи осуществляют с помощью закона охлаждения Ньютона (уравнения теплоотдачи).

Уравнение теплоотдачи:

$$Q = \alpha(t_{ж} - t_{ст})F\tau$$

Коэффициент теплоотдачи показывает, какое количество теплоты передается от теплоносителя к 1 м² стенки в единицу времени при разности температур между теплоносителем и стенкой в 1 град.

Зависимости для расчета скорости процесса теплоотдачи получают преобразованием дифференциальных уравнений методом теории подобия.

Критерий Фурье характеризует условия подобия неустановившихся процессов теплоотдачи.

Критерий Фурье является аналогом критерия гомохронности.

Выражение для критерия Фурье:

$$Fo = \alpha\tau/l^2$$

Критерий Пекле характеризует соотношение между интенсивностью переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью в движущемся потоке

Выражение для критерия Пекле:

$$Pe = wl/\alpha$$

Критерий Нуссельта характеризует отношение суммарного переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью к теплоте, передаваемой теплопроводностью.

Выражение для критерия Нуссельта:

$$Nu = \alpha l/\lambda$$

Критерий Нуссельта является определяемым.

Критериальное уравнение теплоотдачи:

$$f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr, Re)=0$$

$$Nu = f(Fo, Pe, Ho, Fr, Re)$$

Для установившегося процесса теплоотдачи критериальное уравнение:

$$f(\text{Nu}, \text{Pe}, \text{Fr}, \text{Re})=0$$
$$\text{Nu} = f(\text{Pe}, \text{Fr}, \text{Re})$$

Критерий Пекле представляют в виде произведения следующих безразмерных комплексов:

$$\text{Pe}=\text{RePr}$$

Критерий Прандтля характеризует подобие физических свойств теплоносителей

Критерий Прандтля:

$$\text{Pr} = \nu/a$$

Критерий Фруда может быть исключен из критериального уравнения в случае вынужденной теплоотдачи.

Критерий Фруда отражает действие сил тяжести:

$$\text{Fr} = w^2/(gl)$$

При естественной конвекции критерий Фруда заменяют производным критерием Архимеда:

$$\text{Ar}=(gl^3/\nu^2)(\Delta\rho/\rho)$$
$$\text{Ar}=\text{Ga}\Delta\rho/\rho$$

Критерий Галилея : $\text{Ga}=gl^3/\nu^2$

Теплоотдача при конденсации насыщенных паров протекает при постоянной температуре.

При конденсации насыщенных паров происходит одновременный перенос теплоты и массы.

При конденсации насыщенных паров перенос теплоты определяется теплотой парообразования.

При конденсации насыщенных паров перенос массы определяется количеством сконденсированного пара.

Конденсацию пара, при которой на хорошо смачиваемых поверхностях капли конденсата образуют жидкую пленку, стекающую вниз под действием силы тяжести, называют пленочной.

Конденсацию пара, при которой на несмачиваемых поверхностях капли конденсата не образуют жидкую пленку, называют капельной.

Задачи:

1. Начальная температура воды 10⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 1240 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31⁰С.
2. Начальная температура воды 5⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 1240 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 95 до 31⁰С.
3. Начальная температура воды 10⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 620 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31⁰С.
4. Начальная температура воды 10⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 124 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31⁰С.
5. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм. Температура стенки аппарата 146⁰С, наружной поверхности изоляции 40⁰С. Поверхность теплопередачи 40м², коэффициент теплопроводности асбеста 0,151 Вт/ мК. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?
6. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 150 мм. Температура стенки аппарата 146⁰С, наружной поверхности изоляции 40⁰С. Поверхность теплопередачи 40м²,

коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?

7. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм . Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 10 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?

8. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 150 мм . Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 10 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?

9. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 30 мм . Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116 \text{ Вт/мК}$. Какое количество теплоты теряется паропроводом с 1 м^2 ?

10. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 60 мм . Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116 \text{ Вт/мК}$. Какое количество теплоты теряется паропроводом с 1 м^2 ?

11. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 15 мм . Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116 \text{ Вт/мК}$. Какое количество теплоты теряется паропроводом с 1 м^2 ?

Часть 5. Массообменные процессы

Процессы, в которых основную роль играет перенос вещества из одной фазы в другую, называют массообменными.

Движущей силой массообменных процессов является разность химических потенциалов.

Движущая сила массообменных процессов характеризует степень отклонения системы от состояния равновесия

В пределах данной фазы вещество переносится от точки с большей концентрацией в точку с меньшей (от точки с большим химическим потенциалом в точку с меньшим).

Обычно в расчетах приближенно движущую силу выражают через разность концентраций.

Избирательное поглощение газов или паров жидким поглотителем – абсорбция.

Абсорбция – это переход вещества из газовой (паровой) фазы в жидкую.

Перегонка и ректификация – разделение жидких гомогенных смесей на компоненты при взаимодействии потоков жидкости и пара

Экстракция – извлечение растворенного в одной жидкости вещества другой жидкостью практически не смешивающейся с первой.

Адсорбция – избирательное поглощение газов, паров или растворенных в жидкости веществ твердым поглотителем.

Избирательное извлечение ионов из растворов электролитов - ионный обмен.

Процесс перехода влаги из твердого влажного материала в газовую или паровую фазы - сушка.

Кристаллизация – выделение твердой фазы в виде кристаллов из растворов или расплавов

Мембранные процессы – избирательное извлечение компонентов смеси или их концентрирование с помощью полупроницаемых перегородок

Процесс перехода вещества из одной фазы в другую в направлении достижения равновесия называется массопередачей.

Массопередача осуществляется при непосредственном соприкосновении фаз или через разделяющую фазы мембрану.

Граница соприкосновения фаз может быть подвижной или неподвижной.

Перенос вещества из фазы к границе раздела фаз или наоборот называется массоотдачей.

Процессы массопереноса обычно обратимые.

Направление перехода вещества из одной фазы в другую определяется концентрациями вещества в фазах и условиями равновесия.

Массообменные процессы протекают только при нарушении фазового равновесия.

Переход вещества в неподвижной среде из внутренних слоев одной фазы через границу раздела фаз и распределение по всему объему второй фазы называется молекулярной диффузией.

Молекулярная диффузия является следствием теплового движения молекул.

Молекулярной диффузии основное сопротивление оказывают силы внутреннего трения.

Перенос вещества движущимися частицами потока в условиях турбулентного движения фаз называют конвективным переносом (конвективной диффузией).

Скорость перехода вещества из одной фазы в другую пропорциональна разности между рабочей и равновесной концентрациями.

Основным кинетическим уравнением массообменных процессов является уравнение массопередачи:

$$M = K_{x(y)} F \Delta x(y)_{\text{ср}} \tau$$

$$M = K_{x(y)} F \Delta x(y)_{\text{ср}}$$

В основное уравнение массопередачи входит кинетический коэффициент массопередачи, который показывает, какое количество вещества переходит из одной фазы в другую в единицу времени через единицу поверхности раздела фаз при движущей силе равной 1. Уравнение массопередачи применяют для определения поверхности контакта фаз и размера массообменных аппаратов.

Величина поверхности контакта фаз в процессах со свободной границей зависит от гидродинамического режима.

Для процессов абсорбции, десорбции, перегонки, ректификации, жидкостной экстракции характерна свободная граница раздела фаз.

Основное сопротивление переносу массы в движущемся потоке оказывает пограничный слой.

В ламинарном потоке пограничный слой увеличивается и заполняет все сечение потока.

Конвективный перенос идет в направлении, параллельном движению потока, а перенос к границе раздела фаз определяется молекулярной диффузией в случае ламинарного режима.

Уравнение массоотдачи:

$$M = (x_{\text{гр}} - x) F \tau$$

$$M = \beta_y (y - y_{\text{гр}}) F \tau$$

Коэффициент массоотдачи β_x (β_y) показывает, какое количество вещества переходит от единицы поверхности раздела фаз в ядро потока или наоборот в единицу времени при движущей силе равной 1.

Коэффициент массоотдачи характеризует скорость переноса вещества внутри фазы конвекцией и молекулярной диффузией одновременно.

На границе раздела фаз отсутствует сопротивление процессу, равновесие устанавливается очень быстро.

Диффузионный критерий Нуссельта характеризует отношение скорости переноса вещества конвективной и молекулярной диффузией к молекулярному переносу.

Выражение для диффузионного критерия Нуссельта:

$$Nu' = \beta l / D$$

Диффузионный критерий Фурье характеризует условия подобия неустановившихся процессов теплоотдачи.

Диффузионный критерий Фурье является аналогом критерия гомохронности и теплового критерия Фурье.

Выражение для диффузионного критерия Фурье:

$$Fo' = D \tau / l^2$$

Диффузионный критерий Пекле характеризует соотношение между интенсивностью переноса вещества конвекцией и молекулярной диффузией.

Выражение для диффузионного критерия Пекле:

$$Pe' = wl/D$$

Диффузионный критерий Пекле представляют в виде произведения следующих безразмерных комплексов:

$$Pe' = RePr'$$

Диффузионный критерий Прандтля характеризует подобие физических свойств.

Диффузионный критерий Прандтля:

$$Pr' = \nu/D$$

Диффузионный критерий Нуссельта является определяемым.

Критериальное уравнение массоотдачи:

$$f(Re, Fo', Nu', Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots) = 0$$

$$Nu' = f(Fo', Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

Для установившегося процесса массоотдачи критериальное уравнение:

$$f(Nu', Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots) = 0$$

$$Nu' = f(Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

Уравнение аддитивности фазовых сопротивлений:

$$K_y = 1/(1/\beta_y + m/\beta_x)$$

$$K_x = 1/(1/\beta_y m + 1/\beta_x)$$

В уравнении аддитивности фазовых сопротивлений знаменатель представляет собой суммарное фазовое сопротивление.

Коэффициент массопередачи находят по уравнению аддитивности фазовых сопротивлений.

Относительное движение фаз влияет на процесс массообмена.

Схема относительного движения, при которой фазы движутся в одном и том же направлении – прямоток.

Схема относительного движения, при которой фазы движутся в противоположных направлениях – противоток.

Относительное движение фаз на величину движущей силы процесса массообмена влияет.

Движущая сила процесса массопередачи:

$$\Delta y_{cp} = (\Delta y_b - \Delta y_m) / \ln (\Delta y_b / \Delta y_m)$$

1. Критерии оценивания компетенций

Текущая аттестация студентов проводится преподавателем, ведущим лекционные и лабораторные занятия по дисциплине. Максимальное количество баллов студент получает, если он активно участвует в работе, владеет материалом, умеет логично и четко излагать мысли, творчески подходит к решению основных вопросов темы, показывает самостоятельность мышления.

Основанием для снижения оценки являются:

- слабое знание темы и основной терминологии;
- пассивность участия в групповой работе;
- отсутствие умения применить теоретические знания для решения практических задач;
- несвоевременность предоставления выполненных работ.

Литература:

Основная литература:

1. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. : учеб. пособие / [Д. А. Баранов, В. Н. Блиничев, А. В. Вязьмин и др.] ; под ред. А. М. Кутепова, Т. 2, Механические и

- гидромеханические процессы. – М. : Логос, 2011. – 600 с.
2. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. : учеб. пособие / [Д. А. Баранов, А. В. Вязьмин, А. А. Гухман и др.] ; под ред. А. М. Кутепова, Т. 1, Основы теории процессов химической технологии. – М. : Логос, 2012. – 480 с.
3. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник : в 2 кн. / Ю.И. Дытнерский, Ч.2, Массообменные аппараты и процессы. – 3-е изд. – М. : Химия, 2010. – 368 с

Дополнительная литература:

1. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. М.: Химия, 1999.
 2. Кутепов А.М. и др. Общая химическая технология. М.: Высш. шк., 1990.
 3. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Химия, 1988.
 4. Мухленов И.П. и др. Основы химической технологии. М.: Высш. шк., 1991.
 5. Сафонов М.С. Критерии термодинамического совершенства технологических систем. М.: МГУ, 1998.
- 9.1.3 Методическая литература:**

Интернет-ресурсы:

1. <http://ru.wikipedia.org> - электронная энциклопедия.
 2. <http://www.koob.ru> – электронная библиотека.
 3. <http://www.iqlib.ru> – Электронно-библиотечная система.
 4. <http://studentam.net> – электронная библиотека учебников.
- www.dissercat.ru – электронная библиотека диссертационных работ.

Программное обеспечение:

Специализированное программное обеспечение не требуется

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЮ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

по дисциплине

«Общая химическая технология»

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

Направленность (профиль) Основной органический и нефтехимический синтез

Ставрополь, 2026

Цель самостоятельной работы студентов:

1. Систематизировать современные процессы интеграции Российского высшего образования в общеевропейскую и мировую образовательную практику; раскрыть сущность проблем организации учебно-воспитательного процесса на современном этапе развития высшего образования.

2. Подобрать такой дидактический материал для самостоятельной работы, который бы позволил применить полученные знания на практике и развивать инициативу, активность и творческие способности.

3. Помочь студентам в формировании у них компетенций, согласно учебного плана.

Основными **формами работы и контроля** студентов являются:

Индивидуальное решение заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков по дисциплине.

Собеседование - форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т. п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающая всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

Реферат – раскрытие сущности исследуемой проблемы, включающее обращение к различным точкам зрения на вопрос, а также изложение собственных взглядов на нее.

Индивидуальное решение заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков аспирантов по дисциплине

Для подготовки к выполнению задания следует изучить и проанализировать рекомендованную литературу и на их основании подготовиться к изложению темы.

При проверке задания оцениваются

- уверенное владение материалом;
- умение четко и логично излагать свои мысли;
- умение творчески подходить к решению основных проблем темы;
- самостоятельность мышления, умение отстаивать свою позицию в ходе последующих дискуссий,
- самостоятельная и выразительная устная речь, полностью раскрывающая суть проблематики задания.

Собеседование - форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя с аспирантом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний аспиранта по определенному разделу, теме, проблеме и т.п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающая всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

Принципиальные отличия заданий базового уровня от повышенного заключаются в большем объеме фактов и событий, в сравнительно-аналитическом характере изложения материала, его теоретической (методологической) составляющей.

Для подготовки к каждой теме следует изучить и законспектировать рекомендованные источники и научную литературу и на их основании подготовиться к указанным в методических материалах вопросам для обсуждения.

При проверке задания, оцениваются:

- активное участие в работе;
- уверенное владение материалом;
- умение четко и логично излагать свои мысли;
- умение творчески подходить к решению основных вопросов темы;
- самостоятельность мышления,
- полное соответствие конспекта установленным требованиям;
- самостоятельная устная речь, полностью раскрывающая суть проблематики собеседования.

Реферат – раскрытие сущности исследуемой проблемы, включающее обращение к

различным точкам зрения на вопрос, а также изложение собственных взглядов на нее.

Структура и содержание реферата

Структура реферата включает в себя следующие элементы:

- титульный лист;
- оглавление;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список литературы и источников;
- приложение.

Титульный лист – это информация о выходных данных вашей работы. Он является первой страницей научной работы и заполняется по строго определенным правилам. Титульный лист не нумеруется.

В *оглавлении* текста последовательно излагаются названия пунктов реферата с указанием страницы, с которой начинается каждый пункт. Заголовки оглавления должны точно повторять заголовки в тексте. Сокращать или давать их в другой формулировке, последовательности и соподчиненности по сравнению с заголовками в тексте нельзя. Заголовки одинаковых ступеней рубрикации необходимо располагать друг под другом. Заголовки каждой последующей ступени смещают на три–пять знаков вправо по отношению к заголовкам предыдущей ступени. Все заголовки начинают с прописной буквы без точки на конце. Последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим ему номером страницы в правом столбце оглавления.

Введение к работе. Здесь обычно обосновываются актуальность выбранной темы, цель и содержание поставленных задач, формулируются объект и предмет исследования, указывается избранный метод (или методы) исследования.

Содержание глав основной части должно точно соответствовать теме реферата и полностью её раскрывать. Эти главы должны показать умение автора сжато, логично и аргументировано излагать материал. Важно понимать, что каждая глава должна представлять собой законченное произведение. Её следует начинать постановкой рассматриваемой задачи, а завершать четкими, аргументированными выводами. Все приводимые в работе данные обязательно следует сопровождать подстрочной ссылкой на источник, описание которого должно приводиться в соответствии с требованиями библиографических стандартов. Как правило, основная часть реферата состоит из 2–3 глав, которые в случае необходимости разбиваются на параграфы.

Реферат заканчивается заключительной частью, которая так и называется «*заключение*». Этот синтез – последовательное, логически стройное изложение полученных итогов и их соотношение с общей целью и конкретными задачами, поставленными и сформулированными во введении.

После заключения помещается *библиографический список использованной литературы*, куда включаются оригинальные тексты, монографические исследования, научные статьи, учебные пособия и др. Каждый включенный в такой список литературный источник должен иметь отражение в тексте реферата. Если автор реферата делает ссылку на какие-либо заимствованные факты или цитирует работы других авторов, то он должен обязательно указать в подстрочной ссылке, откуда взяты приведенные материалы. Список литературы должен включать не менее 10 источников.

Объем реферата должен составлять не менее 24 страниц машинописного текста. Объем приложений не ограничивается.

Общие требования к оформлению реферата

Текст реферата должен быть напечатан на одной стороне стандартного листа белой односторонней бумаги формата А4 (210×297 мм) через полтора интервала (размер шрифта – 14) с применением черных чернил с полями вокруг текста. Размер левого поля 30 мм, правого – 10 мм, верхнего – 20 мм, нижнего – 20 мм. При таких полях каждая страница должна содержать приблизительно 1800 знаков (30 строк, по 60 знаков в строке, считая каждый знак препинания и пробел между словами также за печатный знак).

Текст перепечатывается в строго последовательном порядке. Не допускаются разного рода текстовые вставки и дополнения, помещаемые на отдельных страницах или на оборотной стороне листа, и переносы кусков текста в другие места. Все сноски и подстрочные примечания перепечатываются (через один интервал) на той странице, к которой они относятся. Все страницы нумеруются, начиная с титульного листа. Цифру, обозначающую порядковый номер страницы, ставят в правом углу верхнего поля листа (на первой и второй странице цифру, обозначающую порядковый номер, не ставят).

Приложение для рефератов является желательным, но необязательным элементом. В приложение обычно входят различные таблицы, графики, схемы, рисунки и т.п. Приложения помещают после списка использованных библиографических источников в порядке их упоминания в тексте. Каждое приложение следует начинать с нового листа. Приложение не входит в параметры минимального объема работы

Критерии оценки самостоятельной работы студентов

Критерии оценивания результатов самостоятельной работы студентов разработаны с учетом требований ФГОС ВО. Задания, выносимые на самостоятельную работу, оцениваются по шкале «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

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 «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.

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.

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.

Вопросы для собеседования

Часть 1. Основные закономерности протекания химико-технологических процессов.

На жидкость, находящуюся в состоянии движения или покоя, действуют объемные и поверхностные силы.

Характеристикой интенсивности силы тяжести является удельный вес.

На каждый элемент данного объема жидкости действуют объемные силы.

Характеристикой интенсивности поверхностных сил является напряжение на поверхности.

Уравнение расхода жидкости $Q = wS$; $M = wSp$.

Режим движения жидкости при $Re < 2300$ ламинарный.

Режим движения жидкости при $Re > 10000$ турбулентный.

Критическое значение критерия Рейнольдса 2300

Критерий Рейнольдса:

$$Re = wd\rho/\mu$$

$$Re = wd/\nu$$

Потенциал переноса - удельная (отнесенная к единице объема) масса, энергия или количество движения.

В неподвижных средах и в ламинарно движущихся потоках осуществляется молекулярный перенос субстанции.

Первым законом Фика описывается молекулярный перенос массы.

Законом Фурье описывается молекулярный перенос энергии.

Уравнение для молекулярного переноса импульса (с учетом закона внутреннего трения Ньютона):

$$\begin{aligned} \vec{q}_{mw} &= -\mu \operatorname{grad} \vec{w} \\ \vec{q}_{mw} &= -\mu \operatorname{grad} (p\vec{w})/\rho \end{aligned}$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока для неустановившегося движения:

$$d\rho/dt = -\rho \operatorname{div} \vec{w}$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока для установившегося движения:

$$\operatorname{div} \vec{w} = 0$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока в интегральной форме для установившегося движения:

$$w\rho S = \text{const}$$

Интегралом дифференциальных уравнений движения Эйлера для установившегося потока является уравнение Бернулли.

Интегралом дифференциальных уравнений равновесия Эйлера для покоящейся жидкости является уравнение гидростатики.

Часть 2. Основы моделирования на примере теории подобия.

Метод решения задач исследования и расчета химико-технологических процессов – теоретический метод (моделирование).

Условия, которые полностью, однозначно характеризуют данное явление – условия однозначности.

Условия однозначности включают: геометрическую форму и размеры системы; физические свойства веществ; начальные условия; граничные условия.

Моделирование - исследование объектов познания на их моделях

Основу теории подобия составляет метод обобщенных переменных

Одним из основных принципов теории подобия является выделение из класса явлений, описываемых общим законом, группы подобных явлений

Подобными называют такие явления, для которых отношение сходственных и характеризующих их величин постоянны.

Геометрическое подобие предполагает, что сходственные размеры модели и натуре параллельны, а их отношение выражается постоянной величиной.

Константа геометрического подобия (масштабный множитель):

$$D_1/D_2 = L_1/L_2 = l_1/l_2 = \dots = a_l = \text{const}$$

Константа временного подобия:

$$T_1/T_2 = \tau_1/\tau_2 = a_\tau = \text{const}$$

Константы физического подобия:

$$\mu_1/\mu_2 = \text{const}, \rho_1/\rho_2 = \text{const}, u_1/u_2 = \text{const}$$

В общем случае константы физического подобия неравны.

Безразмерные числа i , выражающие отношение двух однородных величин в подобных системах называются инвариантами подобия.

В зависимости от соотношения размеров модели и натуры инварианты подобия не изменяются

Инварианты подобия, представляющие собой отношение однородных величин, называют симплексами или параметрическими критериями

Инварианты подобия, представляющие собой отношение разнородных величин, называют критериями подобия

Равенство критериев подобия – единственное количественное условие подобия процессов

Если отношение констант подобия равно 1, оно носит название индикатора подобия

Если константы подобия найдены из условий однозначности, то образованные из них критерии называют определяющими.

Критерий подобия, в который входит искомая величина, называют определяемым.

Обобщенное (критериальное) уравнение:

$$f(K_1, K_2, K_3, \dots) = 0$$

$$K_1 = f(K_2, K_3, \dots)$$

$$K_1 = AK_2^n K_3^m, \dots$$

В основе метода анализа размерностей лежит π -теорема Бекингема.

Критерий гомохронности характеризует неустановившееся состояние процесса:

$$Ho = w\tau/l$$

Критерий Эйлера характеризует влияние перепада гидростатического давления на движение жидкости:

$$Eu = \Delta P / (\rho w^2)$$

$$Eu = P / (\rho w^2)$$

Критерий Рейнольдса характеризует отношение сил инерции к силам трения и определяет режим движения во всех сходственных точках подобных систем:

$$Re = wd\rho/\mu$$

$$Re = wd/\nu$$

Критерий Фруда характеризует влияние сил тяжести на движение жидкости:

$$Fr = w^2/gl$$

Обобщенное критериальное уравнение гидродинамики:

$$f(Ho, Eu, Fr, Re) = 0$$

$$f_1(Ho, Fr, Re) = Eu$$

Мгновенная скорость потока в любой точке аппарата или его модели - поле скоростей в потоке.

Модели гидродинамической структуры потоков - упрощенные теоретические модели движения сред в аппаратах.

Кривая изменения концентрации в потоке на выходе - кривая отклика (выходная кривая).

В аппарате идеального вытеснения частицы потока движутся параллельно друг другу с одинаковой скоростью, поперечное и продольное перемешивание отсутствуют.

В аппарате идеального смешения время пребывания частиц потока распределено неравномерно.

Для модели идеального вытеснения характерным является равномерность скоростей и времени пребывания частиц.

Для модели идеального смешения характерным является равномерность концентраций и температуры по объему.

Параметром, характеризующим ячеечную модель является число ячеек.

Основой диффузионной модели является модель идеального вытеснения, осложненная обратным перемешиванием.

Среднее время пребывания частиц в аппарате идеального вытеснения

$$\tau_{\text{ср}} = V_a / Q$$

Продольное перемешивание характеризуют критерием подобия Пекле:

$$Pe_L = wL/D_L$$

Часть 3. Гидравлика.

Гидростатика изучает равновесие жидкостей, находящихся в состоянии относительного покоя.

Основное уравнение гидростатики:

$$z_1 + p_1 / (\rho g) = z_2 + p_2 / (\rho g)$$

$$z + p / (\rho g) = \text{const}$$

Величину z , характеризующую расстояние данной точки до произвольно выбранной горизонтальной плоскости отсчета называют нивелирной высотой.

Удельную потенциальную энергию положения данной точки над произвольно выбранной плоскостью сравнения характеризует геометрический напор.

Величина $p / (\rho g)$ - гидростатический напор (пьезометрический напор).

Гидростатический напор представляет собой энергию, приходящуюся на единицу веса жидкости, и характеризует удельную потенциальную энергию давления в данной точке.

Сумма потенциальных энергий положения и давления в покоящейся жидкости является величиной постоянной.

Сумма потенциальных энергий положения и давления в покоящейся жидкости равна полному гидростатическому напору

«Давление, создаваемое в любой точке покоящейся несжимаемой жидкости, передается во все стороны с одинаковой силой» - закон Паскаля.

Выражение закона Паскаля:

$$p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2)$$

$$\Delta p = \rho g(z_1 - z_2)$$

Пьезометр, вакуумметр – приборы для измерения давления.

Интегрирование дифференциальных уравнений движения идеальной жидкости дает уравнение Бернулли. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости:

$$z + p / (\rho g) + w^2 / (2g) = \text{const} = H$$

Общий или гидродинамический напор:

$$[z + p / (\rho g) + w^2 / (2g)]$$

Удельная кинетическая энергия в данном сечении (точке) потока или динамический напор $w^2 / (2g)$

Уравнение Бернулли выражает энергетический баланс потока.

Уравнение Гагена-Пуазейля:

$$Q = \Delta p \pi d^4 / (128 \mu L)$$

Уравнение Гагена-Пуазейля используется в случае стационарного ламинарного движения несжимаемой жидкости в трубе круглого сечения

Потери давления на трение при ламинарном режиме пропорциональны скорости w .

Потери давления на трение при турбулентном режиме пропорциональны $w^{1,75}$.

Уравнение расхода жидкости при известной средней скорости:

$$Q = w \pi d^2 / 4$$

Диаметр трубопровода при средней скорости жидкости w :

$$d = [4Q / (\pi w)]^{0,5}$$

Среднюю скорость потока измеряют с помощью дроссельных приборов.

К дроссельным приборам относятся диафрагмы, мерные сопла, труба Вентури. По принципу действия насосы подразделяют на объемные и динамические.

В объемных насосах энергия и давление повышаются в результате вытеснения жидкости телами, движущимися возвратно-поступательно или вращательно.

В динамических насосах энергия и давление жидкости повышаются под действием центробежной силы или сил трения

К объемным насосам относятся поршневые, плунжерные, диафрагменные, шестеренные, винтовые

К динамическим насосам относятся центробежные, осевые, струйные, вихревые

Объем жидкости, подаваемый в нагнетательный трубопровод в единицу времени - производительность насоса

Избыточная удельная энергия, сообщаемая насосом единице массы жидкости – напор.

Напор насоса H рассчитывают по уравнению Бернулли.

Полезная мощность насоса N_n , затрачиваемая им на сообщение жидкости энергии:

$$N_n = \rho g Q H$$

Действительная мощность на валу насоса больше полезной мощности

Задачи

1. В трубопроводе диаметром 96*3,5 мм течет вода, расход которой 3,6 м³/ч. Вязкость воды 1*10⁻³ Па*с. Чему равен критерий Рейнольдса?
2. В трубопроводе диаметром 96*3,5 мм течет вода, расход которой 0,36 м³/ч. Вязкость воды 1*10⁻³ Па*с. Чему равен критерий Рейнольдса?
3. В трубопроводе диаметром 96*3,5 мм течет жидкость, расход которой 3,6 м³/ч. Вязкость воды 1,5*10⁻³ Па*с, плотность – 1500 кг/м³. Чему равен критерий Рейнольдса?
4. В трубопроводе диаметром 66*3 мм течет вода, расход которой 3,6 м³/ч. Вязкость воды 1*10⁻³ Па*с. Чему равен критерий Рейнольдса?
5. Воздух с температурой 50 °С подается вентилятором в установку. Диаметр трубопровода 102*6 мм, плотность воздуха 1,09 кг/м³, вязкость 0,02 мПа*с. Расход воздуха 0,103 м³/с. Определить режим движения воздуха.
6. Воздух с температурой 50 °С подается вентилятором в установку. Диаметр трубопровода 102*6 мм, плотность воздуха 1,09 кг/м³, вязкость 0,02 мПа*с. Расход воздуха 0,003 м³/с. Определить режим движения воздуха.
7. Воздух с температурой 50 °С подается вентилятором в установку. Диаметр трубопровода 57*6 мм, плотность воздуха 1,09 кг/м³, вязкость 0,02 мПа*с. Расход воздуха 0,003 м³/с. Определить режим движения воздуха.
8. Манометр на трубопроводе, заполненном водой, показывает давление 0,19 МПа. Определить высоту, на какую поднимется жидкость в открытом пьезометре над точкой присоединения манометра.
9. Манометр на трубопроводе, заполненном водой, показывает давление 0,15 МПа. Определить высоту, на какую поднимется жидкость в открытом пьезометре над точкой присоединения манометра.
10. Манометр на трубопроводе, заполненном жидкостью плотностью 1200 кг/м³, показывает давление 0,19 МПа. Определить высоту, на какую поднимется жидкость в открытом пьезометре над точкой присоединения манометра.

Часть 4. Тепловые процессы

Процессы, скорость которых определяется скоростью подвода или отвода теплоты, называют тепловыми.

Аппараты, в которых осуществляются тепловые процессы, называют теплообменниками.

Явление теплопроводности состоит в том, что перенос теплоты происходит путем непосредственного соприкосновения между микрочастицами

Теплопроводность в подвижных средах при турбулентном режиме движения имеет значение в тонком пограничном слое.

В неподвижных средах и при ламинарном режиме движения при отсутствии излучения теплопроводность единственный способ передачи теплоты.

Процесс распространения энергии с помощью электромагнитных колебаний – это тепловое излучение.

Перенос теплоты вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов жидкости или газа - явление конвекции.

Перенос теплоты от более нагретой среды к менее нагретой через разделяющую их стенку называют теплопередачей.

Вещества, участвующие в теплопередаче, называют теплоносителями.

При стационарном процессе теплопередачи температура изменяется в пространстве, не зависит от времени/

При нестационарном процессе теплопередачи температура изменяется в пространстве, изменяется во времени.

Необходимым условием теплопередачи является неравенство температур.

Геометрическое место всех точек с одинаковой температурой представляет собой изотермическую поверхность

Мерой интенсивности изменения температуры в данной точке является температурный градиент.

Основное уравнение теплопередачи:

$$Q = KF\Delta t_{cp}\tau$$

$$Q = KF\Delta t_{cp}$$

Тепловой поток Q определяют по уравнениям теплового баланса:

$$Q = G_1(H_{1н} - H_{1к}) = G_2(H_{2к} - H_{2н})$$

$$Q = G_1c_1(t_{1н} - t_{1к}) = G_2c_2(t_{2к} - t_{2н})$$

Коэффициент теплопередачи показывает, какое количество теплоты передается от горячего теплоносителя к холодному за 1 с через 1 м² стенки при разности температур между теплоносителями 1 град.

Уравнение теплопроводности плоской стенки при установившемся процессе теплопереноса:

$$Q = \lambda(t_{ст.1} - t_{ст.2})F\tau/\delta$$

$$q = \lambda(t_{ст.1} - t_{ст.2})/\delta$$

Величина λ/δ характеризует тепловую проводимость стенки.

Величина δ/λ характеризует термическое сопротивление стенки.

Для многослойной стенки общее термическое сопротивление равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев.

Расчет скорости теплоотдачи осуществляют с помощью закона охлаждения Ньютона (уравнения теплоотдачи).

Уравнение теплоотдачи:

$$Q = \alpha(t_{ж} - t_{ст})F\tau$$

Коэффициент теплоотдачи показывает, какое количество теплоты передается от теплоносителя к 1 м² стенки в единицу времени при разности температур между теплоносителем и стенкой в 1 град.

Зависимости для расчета скорости процесса теплоотдачи получают преобразованием дифференциальных уравнений методом теории подобия.

Критерий Фурье характеризует условия подобия неустановившихся процессов теплоотдачи.

Критерий Фурье является аналогом критерия гомохронности.

Выражение для критерия Фурье:

$$Fo = \alpha \tau / l^2$$

Критерий Пекле характеризует соотношение между интенсивностью переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью в движущемся потоке

Выражение для критерия Пекле:

$$Pe = wl/\alpha$$

Критерий Нуссельта характеризует отношение суммарного переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью к теплоте, передаваемой теплопроводностью.

Выражение для критерия Нуссельта:

$$Nu = \alpha l / \lambda$$

Критерий Нуссельта является определяемым.

Критериальное уравнение теплоотдачи:

$$f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr, Re) = 0$$

$$Nu = f(Fo, Pe, Ho, Fr, Re)$$

Для установившегося процесса теплоотдачи критериальное уравнение:

$$f(Nu, Pe, Fr, Re) = 0$$

$$Nu = f(Pe, Fr, Re)$$

Критерий Пекле представляют в виде произведения следующих безразмерных комплексов:

$$Pe = RePr$$

Критерий Прандтля характеризует подобие физических свойств теплоносителей

Критерий Прандтля:

$$Pr = \nu / \alpha$$

Критерий Фруда может быть исключен из критериального уравнения в случае вынужденной теплоотдачи.

Критерий Фруда отражает действие сил тяжести:

$$Fr = w^2 / (gl)$$

При естественной конвекции критерий Фруда заменяют производным критерием Архимеда:

$$Ar = (gl^3 / \nu^2) (\Delta \rho / \rho)$$

$$Ar = Ga \Delta \rho / \rho$$

Критерий Галилея : $Ga = gl^3 / \nu^2$

Теплоотдача при конденсации насыщенных паров протекает при постоянной температуре.

При конденсации насыщенных паров происходит одновременный перенос теплоты и массы.

При конденсации насыщенных паров перенос теплоты определяется теплотой парообразования.

При конденсации насыщенных паров перенос массы определяется количеством сконденсированного пара.

Конденсацию пара, при которой на хорошо смачиваемых поверхностях капли конденсата образуют жидкую пленку, стекающую вниз под действием силы тяжести, называют пленочной.

Конденсацию пара, при которой на несмачиваемых поверхностях капли конденсата не образуют жидкую пленку, называют капельной.

Задачи:

1. Начальная температура воды 10°C , конечная – 25°C . Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК . Расход азота $1240 \text{ м}^3/\text{ч}$, плотность азота $1,25 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК . Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31°C .
2. Начальная температура воды 5°C , конечная – 25°C . Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК . Расход азота $1240 \text{ м}^3/\text{ч}$, плотность азота $1,25 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК . Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 95 до 31°C .
3. Начальная температура воды 10°C , конечная – 25°C . Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК . Расход азота $620 \text{ м}^3/\text{ч}$, плотность азота $1,25 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК . Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31°C .
4. Начальная температура воды 10°C , конечная – 25°C . Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК . Расход азота $124 \text{ м}^3/\text{ч}$, плотность азота $1,25 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК . Определить количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31°C .
5. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм . Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 40 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/ мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?
6. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 150 мм . Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 40 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/ мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?
7. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм . Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 10 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/ мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?
8. Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 150 мм . Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 10 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151 \text{ Вт/ мК}$. Какова величина потерь теплоты через слой изоляции?
9. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 30 мм . Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116 \text{ Вт/ мК}$. Какое количество теплоты теряется паропроводом с 1 м^2 ?
10. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 60 мм . Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116 \text{ Вт/ мК}$. Какое количество теплоты теряется паропроводом с 1 м^2 ?
11. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 15 мм . Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116 \text{ Вт/ мК}$. Какое количество теплоты теряется паропроводом с 1 м^2 ?

Часть 5. Массообменные процессы

Процессы, в которых основную роль играет перенос вещества из одной фазы в другую, называют массообменными.

Движущей силой массообменных процессов является разность химических потенциалов.

Движущая сила массообменных процессов характеризует степень отклонения системы от состояния равновесия

В пределах данной фазы вещество переносится от точки с большей концентрацией в точку с меньшей (от точки с большим химическим потенциалом в точку с меньшим).

Обычно в расчетах приближенно движущую силу выражают через разность концентраций.

Избирательное поглощение газов или паров жидким поглотителем – абсорбция.

Абсорбция – это переход вещества из газовой (паровой) фазы в жидкую.

Перегонка и ректификация – разделение жидких гомогенных смесей на компоненты при взаимодействии потоков жидкости и пара

Экстракция – извлечение растворенного в одной жидкости вещества другой жидкостью практически не смешивающейся с первой.

Адсорбция – избирательное поглощение газов, паров или растворенных в жидкости веществ твердым поглотителем.

Избирательное извлечение ионов из растворов электролитов - ионный обмен.

Процесс перехода влаги из твердого влажного материала в газовую или паровую фазы - сушка.

Кристаллизация – выделение твердой фазы в виде кристаллов из растворов или расплавов

Мембранные процессы – избирательное извлечение компонентов смеси или их концентрирование с помощью полупроницаемых перегородок

Процесс перехода вещества из одной фазы в другую в направлении достижения равновесия называется массопередачей.

Массопередача осуществляется при непосредственном соприкосновении фаз или через разделяющую фазы мембрану.

Граница соприкосновения фаз может быть подвижной или неподвижной.

Перенос вещества из фазы к границе раздела фаз или наоборот называется массоотдачей.

Процессы массопереноса обычно обратимые.

Направление перехода вещества из одной фазы в другую определяется концентрациями вещества в фазах и условиями равновесия.

Массообменные процессы протекают только при нарушении фазового равновесия.

Переход вещества в неподвижной среде из внутренних слоев одной фазы через границу раздела фаз и распределение по всему объему второй фазы называется молекулярной диффузией.

Молекулярная диффузия является следствием теплового движения молекул.

Молекулярной диффузии основное сопротивление оказывают силы внутреннего трения.

Перенос вещества движущимися частицами потока в условиях турбулентного движения фаз называют конвективным переносом (конвективной диффузией).

Скорость перехода вещества из одной фазы в другую пропорциональна разности между рабочей и равновесной концентрациями.

Основным кинетическим уравнением массообменных процессов является уравнение массопередачи:

$$M = K_{x(y)} F \Delta x(y)_{cp} \tau$$

$$M = K_{x(y)} F \Delta x(y)_{cp}$$

В основное уравнение массопередачи входит кинетический коэффициент массопередачи, который показывает, какое количество вещества переходит из одной фазы в другую в единицу времени через единицу поверхности раздела фаз при движущей силе равной 1. Уравнение массопередачи применяют для определения поверхности контакта фаз и размера массообменных аппаратов.

Величина поверхности контакта фаз в процессах со свободной границей зависит от гидродинамического режима.

Для процессов абсорбции, десорбции, перегонки, ректификации, жидкостной экстракции характерна свободная граница раздела фаз.

Основное сопротивление переносу массы в движущемся потоке оказывает пограничный слой.

В ламинарном потоке пограничный слой увеличивается и заполняет все сечение потока.

Конвективный перенос идет в направлении, параллельном движению потока, а перенос к границе раздела фаз определяется молекулярной диффузией в случае ламинарного режима.

Уравнение массоотдачи:

$$M = (x_{гр} - x) F \tau$$

$$M = \beta_y (y - y_{tr}) F \tau$$

Коэффициент массоотдачи β_x (β_y) показывает, какое количество вещества переходит от единицы поверхности раздела фаз в ядро потока или наоборот в единицу времени при движущей силе равной 1.

Коэффициент массоотдачи характеризует скорость переноса вещества внутри фазы конвекцией и молекулярной диффузией одновременно.

На границе раздела фаз отсутствует сопротивление процессу, равновесие устанавливается очень быстро.

Диффузионный критерий Нуссельта характеризует отношение скорости переноса вещества конвективной и молекулярной диффузией к молекулярному переносу.

Выражение для диффузионного критерия Нуссельта:

$$Nu' = \beta l / D$$

Диффузионный критерий Фурье характеризует условия подобия неустановившихся процессов теплоотдачи.

Диффузионный критерий Фурье является аналогом критерия гомохронности и теплового критерия Фурье.

Выражение для диффузионного критерия Фурье:

$$Fo' = D \tau / l^2$$

Диффузионный критерий Пекле характеризует соотношение между интенсивностью переноса вещества конвекцией и молекулярной диффузией.

Выражение для диффузионного критерия Пекле:

$$Pe' = w l / D$$

Диффузионный критерий Пекле представляют в виде произведения следующих безразмерных комплексов:

$$Pe' = Re Pr'$$

Диффузионный критерий Прандтля характеризует подобие физических свойств.

Диффузионный критерий Прандтля:

$$Pr' = \nu / D$$

Диффузионный критерий Нуссельта является определяемым.

Критериальное уравнение массоотдачи:

$$f(Re, Fo', Nu', Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots) = 0$$

$$Nu' = f(Fo', Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

Для установившегося процесса массоотдачи критериальное уравнение:

$$f(Nu', Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots) = 0$$

$$Nu' = f(Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

Уравнение аддитивности фазовых сопротивлений:

$$K_y = 1 / (1/\beta_y + m/\beta_x)$$

$$K_x = 1 / (1/\beta_y m + 1/\beta_x)$$

В уравнении аддитивности фазовых сопротивлений знаменатель представляет собой суммарное фазовое сопротивление.

Коэффициент массопередачи находят по уравнению аддитивности фазовых сопротивлений.

Относительное движение фаз влияет на процесс массообмена.

Схема относительного движения, при которой фазы движутся в одном и том же направлении – прямоток.

Схема относительного движения, при которой фазы движутся в противоположных направлениях – противоток.

Относительное движение фаз на величину движущей силы процесса массообмена влияет.

Движущая сила процесса массопередачи:

$$\Delta y_{cp} = (\Delta y_b - \Delta y_m) / \ln (\Delta y_b / \Delta y_m)$$

Примерные варианты для самостоятельной подготовки к тестированию

ВАРИАНТ 1

1: На жидкость, находящуюся в состоянии движения или покоя, действуют

- : объемные силы
- : внешние силы
- : внутренние силы
- : поверхностные силы

2: Уравнение расхода жидкости

- : $M = wS$
- : $Q = wS$
- : $M = wS\rho$
- : $Q = wS\rho$
- : $Q = wSg$

3: ### - удельная (отнесенная к единице объема) масса, энергия или количество движения

4: Основное уравнение переноса субстанции

- : $\theta\varphi/\theta\tau = \operatorname{div} \vec{q} + \gamma$
- : $\theta\varphi/\theta\tau = \operatorname{div} \vec{q} - \gamma$
- : $\theta\varphi/\theta\tau = -\operatorname{div} \vec{q} + \gamma$
- : $\theta\varphi/\theta\tau = \operatorname{div} \vec{q} - \gamma$
- : $d\varphi/d\tau = -\operatorname{div} \vec{q} + \gamma$

5: Дифференциальное уравнение теплопроводности в неподвижной среде (уравнение Фурье)

- : $\theta t/\theta\tau + w \operatorname{grad} t = a \left(\frac{\theta t}{\theta x} + \frac{\theta t}{\theta y} + \frac{\theta t}{\theta z} \right)$
- : $\theta t/\theta\tau = a \left(\frac{\theta t}{\theta x} + \frac{\theta t}{\theta y} + \frac{\theta t}{\theta z} \right)$
- : $dt/d\tau = a \left(\frac{\theta^2 t}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 t}{\theta y^2} + \frac{\theta^2 t}{\theta z^2} \right)$
- : $dt/d\tau = a \left(\frac{\theta t}{\theta x} + \frac{\theta t}{\theta y} + \frac{\theta t}{\theta z} \right)$
- : $\theta t/\theta\tau = a \left(\frac{\theta^2 t}{\theta x^2} + \frac{\theta^2 t}{\theta y^2} + \frac{\theta^2 t}{\theta z^2} \right)$

6: Интегралом дифференциальных уравнений движения Эйлера для установившегося потока является уравнение ###

7: ### - исследование объектов познания на их моделях

8: $D_1/D_2=L_1/L_2=l_1/l_2=\dots=a_1=\text{const}$

- : константа геометрического подобия
- : критерий геометрического подобия
- : масштабный множитель
- : симплекс геометрического подобия
- : инвариант подобия

9: В зависимости от соотношения размеров модели и натуры инварианты подобия

- : не изменяются
- : изменяются
- : увеличиваются
- : уменьшаются

10: Если константы подобия найдены из условий однозначности, то образованные из них критерии называют ###

11: Критерий ###, характеризующий влияние перепада гидростатического давления на движение жидкости

12: Критерий Фруда

- : $Fr = w^2/gl^2$
- : $Fr = w^2/gl$
- : $Fr = w/gl^2$
- : $Fr = w^2/g^2l$
- : $Fr = w/g^2l$

13: В аппарате идеального ### частицы потока движутся параллельно друг другу с одинаковой скоростью, поперечное и продольное перемешивание отсутствуют

14: Основой ### модели является модель идеального вытеснения, осложненная обратным перемешиванием

15: Критерий подобия Пекле

- : $Pe_L = wL/D_L$
- : $Pe_L = wL/D$
- : $Pe_L = wd/D_L$
- : $Pe_L = wd/D$
- : $Pe_L = w/D_L$

16: Величина $p/(\rho g)$

- : геометрический напор
- : гидродинамический напор
- : гидростатический напор
- : пьезометрический напор

17: Выражение закона Паскаля

- : $\Delta p = \rho g(z_1 - z_2)$
- : $p = \rho g(z_1 - z_2)$
- : $p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2)$

-: $p_2 = p_1 + \rho g z$

-: $p_2 = p_1 - \rho g(z_1 - z_2)$

18: Удельная кинетическая энергия в данном сечении (точке) потока или динамический напор

-: $w^2/(2g)$

-: $p/(\rho g)$

-: $z + p/(\rho g)$

-: $z - p/(\rho g)$

-: $z + p/(\rho g) + w^2/(2g)$

19: Потери давления на трение при турбулентном режиме пропорциональны

-: $w^{1,5}$

-: w^2

-: $w^{1,75}$

-: $w^{1,2}$

-: w

20: В трубопроводе диаметром 96*3,5 мм течет вода, расход которой 3,6 м³/ч. Вязкость воды $1 \cdot 10^{-3}$ Па*с. Критерий Рейнольдса равен

-: 141,7

-: 1417

-: 14170

-: 141700

ВАРИАНТ 1

1: Процессы, скорость которых определяется скоростью подвода или отвода теплоты, называют ###

2: Процесс распространения энергии с помощью электромагнитных колебаний – это

-: теплопроводность

-: теплоотдача

-: тепловое излучение

-: конвекция

-: теплопередача

3: При нестационарном процессе теплопередачи температура

-: изменяется во времени

-: не изменяется в пространстве

-: изменяется в пространстве

-: не зависит от времени

-: постоянна

4: В основное уравнение теплопередачи коэффициент

-: теплоотдачи

-: кинетический

-: теплопроводности

-: сопротивления

-: теплопередачи

5: Величина δ/λ характеризует

-: интенсивность теплового потока

-: скорость теплового потока

- : термическое сопротивление стенки
- : тепловую проводимость стенки
- : теплоотдачу в стенке

6: Начальная температура воды 10⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 124 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31⁰С

- : 116,53 кг/ч
- : 1165,3 кг/ч
- : 11,653 кг/ч
- : 11653 кг/ч

7: Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 30 мм. Температура наружной поверхности изоляции 45⁰С, внутренней 175⁰С. Коэффициент теплопроводности изоляции 0,116 Вт/ мК. Количество теплоты, теряемое паропроводом с 1м².

- : 502,67 Вт
- : 50,2785,6 Вт
- : 5026,67 Вт
- : 50266,66 Вт

8: Коэффициент ### показывает, какое количество теплоты передается от теплоносителя к 1 м² стенки в единицу времени при разности температур между теплоносителем и стенкой в 1 град

9: Выражение для критерия Фурье

- : $Fo = \alpha \tau / l^2$
- : $Fo = \alpha^2 \tau^2 / l$
- : $Fo = - \alpha \tau / l^2$
- : $Fo = - \alpha^2 \tau^2 / l$

10: Критериальное уравнение теплоотдачи

- : $f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr, Re) = 0$
- : $f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr, Re) = const$
- : $Nu = f(Fo, Pe, Ho, Fr, Re)$
- : $f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr) = 0$
- : $f(Fo, Pe, Ho, Fr, Re) = 0$

11: Критерий Фруда может быть исключен из критериального уравнения в случае

- : вынужденной теплоотдачи
- : естественной теплоотдачи
- : теплопроводности
- : теплового излучения

12: Критерий Галилея

- : $Ga = g l^3 / \mu^2$
- : $Ga = g l / \nu^2$
- : $Ga = g l^3 / \nu^2$
- : $Ga = g l^3 / \nu$
- : $Ga = g l / \nu$

13: Конденсацию пара, при которой на хорошо смачиваемых поверхностях капли конденсата образуют жидкую пленку, стекающую вниз под действием силы тяжести, называют ###

14: Явление ### состоит в том, что перенос теплоты происходит путем непосредственного соприкосновения между микрочастицами

15: Перенос теплоты от более нагретой среды к менее нагретой через разделяющую их стенку называют

- : теплопроводностью
- : теплоотдачей
- : теплопередачей
- : тепловым излучением
- : конвекцией

16: Геометрическое место всех точек с одинаковой температурой представляет собой ### поверхность

17: Тепловой поток Q определяют по уравнениям теплового баланса

- : $Q = G_1 c_1 (t_{1н} - t_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н})$
- : $Q = G_1 (H_{1н} - H_{1к}) t = G_2 (H_{2к} - H_{2н}) t$
- : $Q = G_1 (H_{1н} - H_{1к}) = G_2 (H_{2к} - H_{2н})$
- : $Q = (H_{1н} - H_{1к}) t = (H_{2к} - H_{2н}) t$
- : $Q = G_1 (t_{1н} - t_{1к}) = G_2 (t_{2к} - t_{2н})$

18: Расчет скорости теплоотдачи осуществляют с помощью

- : уравнения теплопроводности Фурье
- : уравнения теплоотдачи
- : уравнения теплопередачи
- : уравнения Эйлера
- : закона охлаждения Ньютона

19: Критерий Фурье является аналогом

- : критерия гомохронности
- : критерия Рейнольдса
- : критерия Фруда
- : критерия Эйлера

20: Критерий ### характеризует отношение суммарного переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью к теплоте, передаваемой теплопроводностью

ВАРИАНТ 2

- 1:** Аппараты, в которых осуществляются тепловые процессы, называют ###
- 2:** Перенос теплоты вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов жидкости или газа - явление
- : теплопроводности
 - : теплоотдачи
 - : конвекции
 - : теплового излучения
 - : теплопередачи
- 3:** Необходимым условием теплопередачи является
- : постоянство температур
 - : равенство температур
 - : неравенство температур
 - : повышение температуры
 - : понижение температуры
- 4:** Тепловой поток Q определяют по уравнениям теплового баланса
- : $Q = G_1(H_{1н} - H_{1к})t = G_2(H_{2к} - H_{2н})t$
 - : $Q = G_1c_1(t_{1н} - t_{1к}) = G_2c_2(t_{2к} - t_{2н})$
 - : $Q = (H_{1н} - H_{1к})t = (H_{2к} - H_{2н})t$
 - : $Q = G_1(t_{1н} - t_{1к}) = G_2(t_{2к} - t_{2н})$
 - : $Q = G_1(H_{1н} - H_{1к}) = G_2(H_{2к} - H_{2н})$
- 5:** Для многослойной стенки общее термическое сопротивление равно
- : сумме термических сопротивлений отдельных слоев
 - : разности термических сопротивлений отдельных слоев
 - : разности коэффициентов теплопроводности
 - : сумме коэффициентов теплопроводности
- 6:** Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм. Температура стенки аппарата 146°C , наружной поверхности изоляции 40°C . Поверхность теплопередачи 40 м^2 , коэффициент теплопроводности асбеста $0,151\text{ Вт/мК}$. Потери теплоты через слой изоляции
- : $85,6\text{ Вт}$
 - : $856,653\text{ Вт}$
 - : $8536,53\text{ Вт}$
 - : $85365,3\text{ Вт}$
- 7:** Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 60 мм. Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней 175°C . Коэффициент теплопроводности изоляции $0,116\text{ Вт/мК}$. Количество теплоты, теряемое паропроводом с 1 м^2 .
- : $25,13\text{ Вт}$
 - : $251,33\text{ Вт}$
 - : $2513,33\text{ Вт}$
 - : $25133,33\text{ Вт}$
- 8:** Зависимости для расчета скорости процесса теплоотдачи получают
- : решая дифференциальные уравнения
 - : подбирая коэффициенты
 - : используя экспериментальные данные
 - : преобразованием дифференциальных уравнений методом теории подобия
- 9:** Выражение для критерия Пекле
- : $Pe = wl/\alpha$
 - : $Pe = wl/\alpha^2$
 - : $Pe = -wl/\alpha^2$
 - : $Pe = -wl/\alpha$
- 10:** Для установившегося процесса теплоотдачи критериальное уравнение
- : $f(Nu, Pe, Fr, Re) = \text{const}$

-: $f(Nu, Pe, Fr, Re) = 0$

-: $Nu = f(Pe, Fr, Re)$

-: $f(Nu, Pe, Fr) = 0$

-: $f(Pe, Ho, Fr, Re) = 0$

11: Критерий #### отражает действие сил тяжести

12: Теплоотдача при конденсации насыщенных паров протекает

-: при переменной температуре

-: при постоянной температуре

-: в открытой системе

-: в закрытой системе

-: в замкнутой системе

13: Конденсацию пара, при которой на несмачиваемых поверхностях капли конденсата не образуют жидкую пленку, называют ###

14: Критерий ### характеризует условия подобия неустановившихся процессов теплоотдачи

15: Уравнение теплоотдачи

-: $Q = \lambda(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})F\tau$

-: $Q = \alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})\tau$

-: $Q = \alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})F\tau$

-: $Q = -\alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})F\tau$

16: Величина λ/δ характеризует

-: термическое сопротивление стенки

-: интенсивность теплового потока

-: тепловую проводимость стенки

-: скорость теплового потока

-: теплоотдачу в стенке

17: Основное уравнение теплопередачи

-: $Q = KF\Delta t_{\text{ср}}\tau$

-: $Q = \alpha F\Delta t_{\text{ср}}\tau$

-: $Q = KF\Delta t_{\text{ср}}$

-: $Q = -KF\Delta t_{\text{ср}}\tau$

-: $Q = \lambda F\Delta t_{\text{ср}}\tau$

18: При стационарном процессе теплопередачи температура

-: изменяется в пространстве

-: не зависит от времени

-: не изменяется в пространстве

-: изменяется во времени

-: постоянна

19: Теплопроводность в подвижных средах при турбулентном режиме движения имеет значение

-: по всему сечению потока

-: на входе в аппарат

-: в тонком пограничном слое

-: на выходе из аппарата

-: в центре потока

20: Выражение для критерия Нуссельта

-: $Nu = -\alpha l / \lambda$

-: $Nu = -wl / \alpha^2$

-: $Nu = wl / \alpha$

-: $Nu = \lambda / \alpha l$

1: Явление #### состоит в том, что перенос теплоты происходит путем непосредственного соприкосновения между микрочастицами

2: Перенос теплоты от более нагретой среды к менее нагретой через разделяющую их стенку называют

- : теплопроводностью
- : теплоотдачей
- : тепловым излучением
- : теплопередачей
- : конвекцией

3: Геометрическое место всех точек с одинаковой температурой представляет собой #### поверхность

4: Коэффициент #### показывает, какое количество теплоты передается от горячего теплоносителя к холодному за 1 с через 1 м² стенки при разности температур между теплоносителями 1 град.

5: Начальная температура воды 10⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 1240 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31⁰С

- : 11,653 кг/ч
- : 116,53 кг/ч
- : 1165,3 кг/ч
- : 11653 кг/ч

6: Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 150 мм. Температура стенки аппарата 146⁰С, наружной поверхности изоляции 40⁰С. Поверхность теплопередачи 40м², коэффициент теплопроводности асбеста 0,151 Вт/ мК. Потери теплоты через слой изоляции

- : 42,68 Вт
- : 426,83 Вт
- : 4268,27 Вт
- : 42682,67 Вт

7: Уравнение теплоотдачи

- : $Q = \alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})F\tau$
- : $Q = \lambda(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})F\tau$
- : $Q = \alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})\tau$
- : $Q = -\alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})F\tau$

8: Критерий #### характеризует условия подобия неустановившихся процессов теплоотдачи

9: Выражение для критерия Фурье

- : $Fo = \alpha^2 \tau^2 / l$
- : $Fo = - \alpha \tau / l^2$
- : $Fo = - \alpha^2 \tau^2 / l$
- : $Fo = \alpha \tau / l^2$

10: Критерий #### характеризует отношение суммарного переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью к теплоте, передаваемой теплопроводностью

11: Критерий Пекле представляют в виде произведения следующих безразмерных комплексов

- : $Pe = NuRe$
- : $Pe = NuFr$
- : $Pe = RePr$
- : $Pe = PeFr$

12: Критерий Фруда

- : $Fr = w / (gl)$
- : $Fr = -w^2 / (gl)$

- : $Fr = w^2/(gl)$
- : $Fr = -w/(gl)$
- : $Fr = w^2/(gv)$
- : $Fr = w/(gv)$

13: При конденсации насыщенных паров происходит одновременный перенос теплоты и

- : импульса
- : массы
- : скорости
- : энергии

14: Критериальное уравнение теплоотдачи

- : $f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr, Re) = \text{const}$
- : $f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr) = 0$
- : $Nu = f(Fo, Pe, Ho, Fr, Re)$
- : $f(Fo, Pe, Ho, Fr, Re) = 0$
- : $f(Fo, Nu, Pe, Ho, Fr, Re) = 0$

15: Расчет скорости теплоотдачи осуществляют с помощью

- : уравнения теплопроводности Фурье
- : закона охлаждения Ньютона
- : уравнения теплоотдачи
- : уравнения теплопередачи
- : уравнения Эйлера

16: Основное уравнение теплопередачи

- : $Q = KF\Delta t_{cp}$
- : $Q = \alpha F\Delta t_{cp}\tau$
- : $Q = KF\Delta t_{cp}\tau$
- : $Q = -KF\Delta t_{cp}\tau$
- : $Q = \lambda F\Delta t_{cp}\tau$

17: При нестационарном процессе теплопередачи температура

- : не изменяется в пространстве
- : изменяется во времени
- : не зависит от времени
- : изменяется в пространстве

18: В неподвижных средах и при ламинарном режиме движения при отсутствии излучения ### единственный способ передачи теплоты

19: Уравнение теплопроводности плоской стенки при установившемся процессе теплопередачи

- : $q = \lambda(t_{ct.1} - t_{ct.2})/\delta$
- : $Q = -\lambda(t_{ct.1} - t_{ct.2})F\tau/\delta$
- : $Q = \lambda(t_{ct.1} - t_{ct.2})F\tau/\delta$
- : $Q = \lambda(t_{ct.1} - t_{ct.2})\tau/\delta$
- : $Q = \lambda(t_{ct.1} - t_{ct.2})/\delta$

20: При естественной конвекции критерий Фруда заменяют производным критерием ###

ВАРИАНТ 4

- 1:** Аппараты, в которых осуществляются тепловые процессы, называют ###
- 2:** Теплопроводность в подвижных средах при турбулентном режиме движения имеет значение
- : в тонком пограничном слое
 - : по всему сечению потока
 - : на входе в аппарат
 - : на выходе из аппарата
 - : в центре потока
- 3:** Перенос теплоты вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов жидкости или газа - явление
- : конвекции
 - : теплопроводности
 - : теплоотдачи
 - : теплового излучения
 - : теплопередачи
- 4:** Вещества, участвующие в теплопередаче, называют ###
- 5:** При нестационарном процессе теплопередачи температура
- : изменяется в пространстве
 - : изменяется во времени
 - : не изменяется в пространстве
 - : не зависит от времени
 - : постоянна
- 6:** Мерой интенсивности изменения температуры в данной точке является
- : разность температур
 - : температурное поле
 - : температурный градиент
 - : температура в данной точке
 - : изменение теплового потока
- 7:** Уравнение теплопроводности плоской стенки при установившемся процессе теплопереноса
- : $Q = \lambda(t_{\text{ст.1}} - t_{\text{ст.2}})F\tau/\delta$
 - : $q = \lambda(t_{\text{ст.1}} - t_{\text{ст.2}})/\delta$
 - : $Q = -\lambda(t_{\text{ст.1}} - t_{\text{ст.2}})F\tau/\delta$
 - : $Q = \lambda(t_{\text{ст.1}} - t_{\text{ст.2}})\tau/\delta$
 - : $Q = \lambda(t_{\text{ст.1}} - t_{\text{ст.2}})/\delta$
- 8:** Начальная температура воды 5⁰С, конечная – 25⁰С. Теплоемкость воды 4190 Дж/кгК. Расход азота 1240 м³/ч, плотность азота 1,25 кг/м³, теплоемкость азота 1050 Дж/кгК. Количество воды, необходимое для охлаждения азота от 76 до 31⁰С
- : 874 кг/ч
 - : 8740 кг/ч
 - : 87,4 кг/ч
 - : 1648 кг/ч
- 9:** Аппарат покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм. Температура стенки аппарата 146⁰С, наружной поверхности изоляции 40⁰С. Поверхность теплопередачи 10м², коэффициент теплопроводности асбеста 0,151 Вт/мК. Потери теплоты через слой изоляции
- : 2134,13 Вт
 - : 21,34 Вт
 - : 213,41 Вт
 - : 21341,33 Вт
- 10:** Расчет скорости теплоотдачи осуществляют с помощью
- : уравнения теплоотдачи

- : уравнения теплопроводности Фурье
- : уравнения теплопередачи
- : закона охлаждения Ньютона
- : уравнения Эйлера

11: Критерий Фурье является аналогом

- : критерия Рейнольдса
- : критерия Фруда
- : критерия Эйлера
- : критерия гомохронности

12: Выражение для критерия Пекле

- : $Pe = wl/\alpha^2$
- : $Pe = wl/\alpha$
- : $Pe = -wl/\alpha^2$
- : $Pe = -wl/\alpha$

13: Выражение для критерия Нуссельта

- : $Nu = -\alpha l/\lambda$
- : $Nu = -wl/\alpha^2$
- : $Nu = \alpha l/\lambda$
- : $Nu = \alpha / wl$
- : $Nu = wl/\lambda$

14: Для установившегося процесса теплоотдачи критериальное уравнение

- : $f(Nu, Pe, Fr, Re) = 0$
- : $f(Nu, Pe, Fr, Re) = \text{const}$
- : $Nu = f(Pe, Fr, Re)$
- : $f(Nu, Pe, Fr) = 0$
- : $f(Pe, Ho, Fr, Re) = 0$

15: Критерий #### характеризует подобие физических свойств теплоносителей

16: Критерий #### отражает действие сил тяжести

17: При естественной конвекции критерий Фруда заменяют производным критерием ####

18: При естественной конвекции критерий Фруда заменяют производным критерием ####

19: При конденсации насыщенных паров перенос теплоты определяется

- : теплопроводностью
- : теплоотдачей
- : теплотой парообразования
- : теплопередачей
- : скоростью конденсации

20: Конденсацию пара, при которой на хорошо смачиваемых поверхностях капли конденсата образуют жидкую пленку, стекающую вниз под действием силы тяжести, называют ####