

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ГИДРАВЛИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Задания и методические указания
по выполнению самостоятельной и контрольной работы



Новосибирск 2023

УДК 532.5(075.8):622.5
ББК 30.123

Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции

Составители: канд. техн. наук, доц. А.Г. Христенко
канд. техн. наук, доцент А.А. Диденко
канд. техн. наук, доцент Е.А. Пшенов

Гидравлика и теплотехника: Задания и методические указания по выполнению самостоятельной и контрольной работы. / Новосибир. гос. аграр. ун-т, инжен. ин-т; сост.: Христенко А.Г., Диденко А.А., Пшенов Е.А. – Новосибирск, 2023. – 56 с.

Задания и методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов".

тверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол № __ от _____ 2023 г.)

Новосибирский государственный аграрный университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА.....	5
Содержание отдельных разделов с тестами для самостоятельной подготовки.....	7
2. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	32
ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ.....	52
Библиографический список	55

ВВЕДЕНИЕ

В механизации всех производств агропромышленного комплекса значительное место занимают гидравлические процессы. Это требует соответствующей подготовки инженера в области теплотехники и ее применения в технике.

Цель изучения дисциплины — получение теоретических знаний в области гидравлики, гидромашин, гидросистем и овладение инженерными методами расчета, выбора и эксплуатации гидравлического оборудования. Получение теоретических знаний в области теплотехники и овладение инженерными методами расчета, выбора и эксплуатации технологического оборудования.

В результате изучения дисциплины студент должен знать: основы гидростатики, кинематики и динамики жидкостей, конструктивное устройство, рабочие процессы, правила эксплуатации, основы теории и расчета эксплуатационных показателей, основные направления и тенденции совершенствования гидравлических машин, оборудования и систем. Он должен уметь: решать типовые задачи по гидравлике; выполнять основные расчеты и анализировать работу гидравлических машин, оборудования, гидросистем; самостоятельно подбирать их, осваивать новую технику, выбирать оптимальные режимы ее работы, обеспечивающие качественное выполнение технологических процессов; основы теплотехники, первого и второго закона термодинамики, основные газовые процессы, конструктивное устройство, рабочие процессы, правила эксплуатации, основы теории и расчета эксплуатационных показателей, основные направления и тенденции совершенствования машин, оборудования и систем. Он должен уметь: решать типовые задачи по теплотехнике; выполнять основные расчеты и анализировать работу машин, оборудования; самостоятельно подбирать их, осваивать новую технику, выбирать оптимальные режимы ее работы, обеспечивающие качественное выполнение технологических процессов.

Изучение дисциплины основывается на знаниях соответствующих разделов высшей математики, физики, теоретической механики, сопротивления материалов, деталей машин.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА

Дисциплина *Гидравлика и теплотехника* в соответствии с требованиями ФГОС ВО направлена на формирование следующих общепрофессиональных (ОПК) компетенций:

1. Готовностью применять систему фундаментальных знаний (математических, естественнонаучных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно- технологических машин и комплексов (ОПК-3);

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные законы гидравлики и теплотехники;
- основы теории гидравлических машин, их конструкции, принципы работы и методы рациональной эксплуатации;
- законы термодинамики и тепломассообмена;
- термодинамические процессы и циклы;
- основные способы энергосбережения;

уметь:

- решать типовые задачи по гидравлике и теплотехнике;
- выполнять основные расчёты и анализировать работу гидравлических машин, гидросистем в сельскохозяйственном производстве;
- проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли;
- проводить расчеты теплообменных аппаратов;
- применять энергосберегающие технологии.

владеть:

- методами расчета гидравлических систем и подбора гидромеханического оборудования, навыками выполнения гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.
- методикой определения термодинамических параметров с помощью диаграмм и таблиц;
- методикой расчета теплообменного оборудования;
- способами и методами сбережения тепловой энергии.

Таблица 1. Связь результатов обучения с приобретаемыми компетенциями

№ п/п	Осваиваемые знания, умения, навыки	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Знать:	
1.1	- основные законы гидравлики и теплотехники;	ОПК-3
1.2	- основы теории гидравлических машин, их конструкции, принципы работы и методы рациональной эксплуатации;	ОПК-3
1.3	- законы термодинамики и тепломассообмена;	ОПК-3
1.4	- термодинамические процессы и циклы;	ОПК-3
1.5	- основные способы энергосбережения;	ОПК-3
2.	Уметь:	
2.1	- решать типовые задачи по гидравлике и теплотехнике;	ОПК-3
2.2	- выполнять основные расчёты и анализировать работу гидравлических машин, гидросистем в сельскохозяйственном производстве;	ОПК-3
2.3	- проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли;	ОПК-3
2.4	- проводить расчеты теплообменных аппаратов;	ОПК-3
2.5	- применять энергосберегающие технологии.	ОПК-3
3	Владеть:	
3.1	- методами расчета гидравлических систем и подбора гидромеханического оборудования, навыками выполнения гидравлических исследований, обработки и анализа их результатов.	ОПК-3
3.2	- методикой определения термодинамических параметров с помощью диаграмм и таблиц;	ОПК-3
3.3	- методикой расчета теплообменного оборудования;	ОПК-3
3.4	- способами и методами сбережения тепловой энергии.	ОПК-3

Содержание отдельных разделов с тестами для самостоятельной подготовки

Введение. Гидростатика

Общие сведения о гидравлике. Основные физические свойства жидкости. Понятие силы и давления.

Структура и объём изучаемой дисциплины. Роль гидравлики в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Краткая история развития гидравлики.

Жидкость, основные понятия и определения. Понятие реальной и идеальной жидкости. Основные физические свойства реальной жидкости (удельный вес, плотность, сжимаемость, температурное расширение, вязкость, текучесть, капиллярность).

Силы, действующие на жидкость (массовые, поверхностные). Гидростатическое давление. Свойства гидростатического давления. Виды гидростатического давления (абсолютное, весовое, манометрическое, вакуумметрическое). Методы и приборы для измерения избыточного давления и величины вакуума (пьезометры, манометры, вакуумметры).

Дифференциальные уравнения равновесия жидкости (уравнения Эйлера). Дифференциальное уравнение равновесия жидкости (уравнение Эйлера). Основное уравнение гидростатики как частный случай уравнения Эйлера.

Относительный покой жидкости. Поверхности равного давления. Исследование форм свободной поверхности для наиболее характерных случаев относительного покоя жидкости.

Сила давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Силы гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности, определение точек их приложения. Эпюры гидростатического давления.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Физические свойства жидкости и силы, действующие в жидкости.
2. Что называется гидростатическим давлением? Какими свойствами оно обладает? Доказать эти свойства.
3. Абсолютное и избыточное давление, вакуум - дать определение. Приборы для замера этих величин. Единицы измерения давления. Что называется пьезометрическим напором?
4. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для жидкостей, находящихся в покое.
5. Преобразование уравнений Эйлера для покоящейся жидкости в дифференциальное уравнение приведенного вида. Уравнение поверхности равного давления.

6. Исследование поверхности равного давления для трех случаев действия массовых сил на жидкость: только силы тяжести; силы тяжести и силы инерции; силы тяжести и центробежной силы.
7. Основные уравнения гидростатики, как частный случай приведенного уравнения Эйлера.
8. Сила давления жидкости на плоскую стенку, центр давления. Дать определение, вывести формулы для определения силы давления и координаты центра давления аналитическим способом.
9. Эпюры гидростатического давления на плоскую стенку. Вывод формулы для определения силы давления и центра давления. Силы давления на плоскую стенку графоаналитическим способом.
10. Определение силы давления и центра давления на криволинейную стенку. Вывести формулу силы давления для цилиндрической поверхности.

Тесты для самостоятельной подготовки

Что такое гидравлика?

- наука о движении жидкости;
- наука о равновесии жидкостей;
- наука о взаимодействии жидкостей;
- наука о равновесии и движении жидкостей.

На какие разделы делится гидравлика?

- гидротехника и гидрогеология;
- гидростатика и гидродинамика;
- гидравлика и гидрология;
- механика жидких тел и механика газообразных тел.

Что такое жидкость?

- физическое вещество, способное заполнять пустоты;
- физическое вещество, способное изменять форму под действием сил;
- физическое вещество, способное изменять свой объем;
- физическое вещество, способное течь.

Реальной жидкостью называется жидкость

- не существующая в природе;
- находящаяся при реальных условиях;
- в которой присутствует внутреннее трение;
- способная быстро испаряться.

Идеальной жидкостью называется

- жидкость, в которой отсутствует внутреннее трение;
- жидкость, подходящая для применения;

- жидкость, способная сжиматься;
- жидкость, существующая только в определенных условиях.

При увеличении температуры удельный вес жидкости

- уменьшается;
- увеличивается;
- сначала увеличивается, а затем уменьшается;
- не изменяется.

Сжимаемость жидкости характеризуется

- коэффициентом Генри;
- коэффициентом температурного сжатия;
- коэффициентом поджатия;
- коэффициентом объемного сжатия.

На какие виды разделяют действующие на жидкость внешние силы?

- силы инерции и поверхностного натяжения;
- внутренние и поверхностные;
- массовые и поверхностные;
- силы тяжести и давления.

Какие силы называются массовыми?

- сила тяжести и сила инерции;
- сила молекулярная и сила тяжести;
- сила инерции и сила гравитационная;
- сила давления и сила поверхностная.

Какие силы называются поверхностными?

- вызванные воздействием объемов, лежащих на поверхности жидкости;
- вызванные воздействием соседних объемов жидкости и воздействием других тел;
- вызванные воздействием давления боковых стенок сосуда;
- вызванные воздействием атмосферного давления.

Жидкость находится под давлением. Что это означает?

- жидкость находится в состоянии покоя;
- жидкость течет;
- на жидкость действует сила;
- жидкость изменяет форму.

Гидростатическое давление:

- напряжение, возникающее в точке жидкости под действием поверхностных и массовых сил;

- свойство, характеризующее физическую природу жидкости;
- поверхностное натяжение жидкости за счет вязкости.

Первое свойство гидростатического давления гласит:

- в любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует от рассматриваемого объема;
- в любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует внутрь рассматриваемого объема;
- в каждой точке жидкости гидростатическое давление действует параллельно площадке касательной к выделенному объему и направлено произвольно;
- гидростатическое давление неизменно во всех направлениях и всегда перпендикулярно в точке его приложения к выделенному объему.

Второе свойство гидростатического давления гласит:

- гидростатическое давление постоянно и всегда перпендикулярно к стенкам резервуара;
- гидростатическое давление изменяется при изменении местоположения точки;
- гидростатическое давление неизменно в горизонтальной плоскости;
- гидростатическое давление неизменно во всех направлениях

Третье свойство гидростатического давления гласит:

- гидростатическое давление в любой точке не зависит от ее координат в пространстве;
- гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве;
- гидростатическое давление зависит от плотности жидкости;
- гидростатическое давление всегда превышает давление, действующее на свободную поверхность жидкости.

Уравнение, позволяющее найти гидростатическое давление в любой точке рассматриваемого объема называется

- основным уравнением гидростатики;
- основным уравнением гидродинамики;
- основным уравнением гидромеханики;
- основным уравнением гидродинамической теории.

Основное уравнение гидростатики определяется

- произведением давления газа над свободной поверхностью к площади свободной поверхности;

- разностью давления на внешней поверхности и на дне сосуда;
- суммой давления на внешней поверхности жидкости и давления, обусловленного весом вышележащих слоев;
- отношением рассматриваемого объема жидкости к плотности и глубине погружения точки.

Чему равно гидростатическое давление при глубине погружения точки, равной нулю

- давлению над свободной поверхностью;
- произведению объема жидкости на ее плотность;
- разности давлений на дне резервуара и на его поверхности;
- произведению плотности жидкости на ее удельный вес.

Поверхность уровня - это

- поверхность, во всех точках которой давление изменяется по одинаковому закону;
- поверхность, во всех точках которой давление одинаково;
- поверхность, во всех точках которой давление увеличивается прямо
- пропорционально удалению от свободной поверхности;
- свободная поверхность, образующаяся на границе раздела воздушной и жидкой сред при относительном покое жидкости.

Относительным покоем жидкости называется

- равновесие жидкости при постоянном значении действующих на нее сил тяжести и инерции;
- равновесие жидкости при переменном значении действующих на нее сил тяжести и инерции;
- равновесие жидкости при неизменной силе тяжести и изменяющейся силе инерции;
- равновесие жидкости только при неизменной силе тяжести.

Как изменится угол наклона свободной поверхности в цистерне, двигающейся с постоянным ускорением

- свободная поверхность примет форму параболы;
- будет изменяться;
- свободная поверхность будет горизонтальна;
- не изменится.

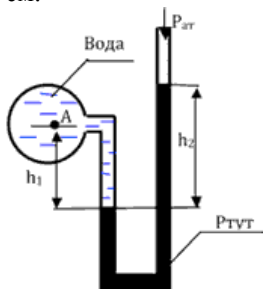
Во вращающемся цилиндрическом сосуде свободная поверхность имеет форму

- параболы;
- гиперболы;

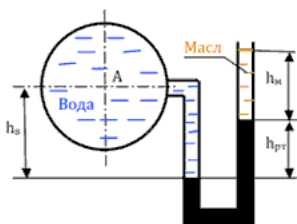
- конуса;
- свободная поверхность горизонтальна.

Типовые задачи для самостоятельной подготовки

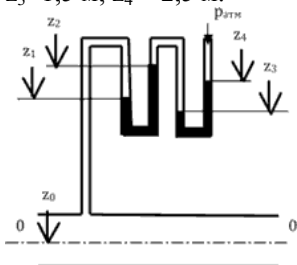
1. Определить плотность жидкости, если известно, что жидкость занимает объем $V = 150$ л, при этом масса жидкости $m = 122$ кг.
2. Вычислить плотность жидкости и ее удельный объем, если жидкость находится в емкости массой $m_{\text{емк}} = 5,5$ кг. Масса заполненной жидкостью емкости $m_{\text{общ}} = 18,9$ кг, а ее объем $V = 15$ л.
3. Вычислить кинематическую вязкость воды при $t_1 = 20$ °С, если значение динамической вязкости составляет $\mu = 1,02 \cdot 10^{-3}$ Па · с (плотность воды при данной температуре принять равной $\rho = 998$ кг/м³). Чему будет равна кинематическая вязкость воды после повышения ее температуры на $\Delta t = 2$ °С?
4. После сжатия воды в цилиндре под поршнем давление в ней увеличилось на 3 кПа. Необходимо определить конечный объем воды в цилиндре, если ее первоначальный объем составлял $W_1 = 2,55$ л, коэффициент объемного сжатия воды $\beta_w = 4,75 \cdot 10^{-10}$ 1/Па.
5. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 500$ мм и длиной $l = 1$ км для повышения давления до $\Delta p = 5 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.
6. Определить манометрическое и абсолютное давление в точке А сосуда, заполненного водой, если $h_1 = 30$ см, показание ртутного манометра $h_2 = 60$ см.



7. Определить абсолютное и избыточное давление в точке А на оси трубы, если разность уровней ртути в дифференциальном манометре $h_{\text{рт}} = 160$ мм, высота масла $h_{\text{м}} = 160$ мм, высота воды в резервуаре $h_{\text{в}} = 0,8$ м, плотность ртути $\rho_{\text{рт}} = 13,6$ т/м³, плотность масла $\rho_{\text{м}} = 0,85$ т/м³.



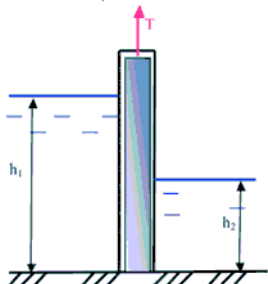
8. Определить избыточное давление воды в трубе по показаниям батарейного ртутного манометра. Отметки уровней ртути от оси трубы: $z_1 = 1,75$ м; $z_2 = 3$ м; $z_3 = 1,5$ м; $z_4 = 2,5$ м.



9. Определить величину и точку приложения силы гидростатического давления на плоскую боковую стенку, если глубина воды $H = 2$ м, а ширина стенки $B = 3$ м. Построить эпюру избыточного гидростатического давления.

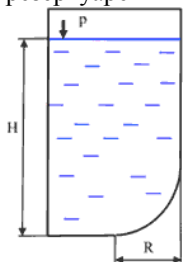
10. Плоский щит перекрывает канал шириной $b = 1,8$ м. Глубина воды перед щитом $h = 2,5$ м. Определить силу давления воды на щит и точку приложения этой силы аналитическим и графоаналитическим методом. Определить минимальное подъемное усилие щита T , если его вес $G = 20$ кН. Коэффициент трения щита по опорам при подъеме $f = 0,25$.

11. Определить подъемное усилие T для прямоугольного плоского щита, перекрывающего водопропускное отверстие рудничной плотины. Пролет затвора в свету $b = 2$ м, глубина воды до щита – $h_1 = 2,2$ м, после щита – $h_2 = 0,8$ м, коэффициент трения между щитом и поверхностью пазов $f = 0,15$. Масса щита $M = 450$ кг. Решить аналитически и графически.

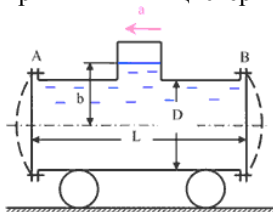


12. Определить величину и направления равнодействующей давления воды на криволинейную стенку резервуара в виде четверти цилиндрической

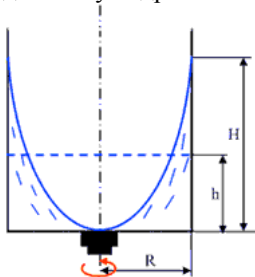
поверхности радиусом $R = 0,8$ м, шириной $b = 4$ м, если глубина воды в резервуаре $H = 2$ м, избыточное давление на поверхности воды $p = 5$ кПа.



13. Цистерна диаметром $D = 1,2$ м и длиной $L = 2,5$ м, наполненная водой до высоты $b = 1$ м, движется горизонтально с постоянным ускорением $a = 2$ м/с². Определить усилия, действующие со стороны нефти на плоские боковые крышки А и В цистерны.



14. Открытый в атмосферу вертикальный цилиндрический сосуд радиусом $R = 0,4$ м заполнен первоначально $h = 1,0$ м водой при температуре $t = 40$ °С. Сосуд приводится во вращения с числом оборотов n , обеспечивающим касания дна вершиной параболоида. Определить высоту поднятия воды в сосуде и силу гидростатического давления на дно сосуда.



Гидродинамика

Основные понятия и определения гидродинамики. Модели идеальной (невязкой) жидкости (линии тока, трубка тока, элементарная струйка и её свойства, поток жидкости). Виды движения жидкости: установившееся, неустановившееся, равномерное, неравномерное, напорное, безнапорное, вихревое, безвихревое. Гидравлические элементы потока (живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус). Гидравлические

характеристики потока (расход, скорость, давление, эпюры распределения скоростей при ламинарном и турбулентном потоках).

Основные уравнения гидродинамики. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера). Уравнение неразрывности потока. Уравнение Бернулли для установившегося потока реальной жидкости. Физический смысл и графическая интерпретация.

Режимы движения жидкости. Определение потерь напора. Подобие гидравлических явлений. Критерии подобия. Режимы движения жидкости. Критерии режима - число Re . Виды гидравлических сопротивлений - путевые и местные. Определение потерь напора на трение по длине пути и на местные сопротивления. Опыты Никурадзе. Формулы для определения коэффициента Дарси для ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости.

Расчёты трубопроводных систем. Формула Шези и область её применения. Связь коэф-та λ с коэф-том Шези. Гидравлический расчет коротких и длинных трубопроводов. Параллельные и последовательные соединения труб. Равномерно распределенный путевой расход. Расчет тупиковой и кольцевой сети трубопровода. Гидравлический удар в трубах. Прямой и не прямой Г.У. определение ударного давления и скорости распространения ударной волны. Способы защиты трубопроводов от Г.У. Гидротаран - устройство и принцип действия.

Истечение жидкости из отверстий и насадков. Истечение жидкости через отверстия и насадки при постоянном и переменном напорах. Истечение жидкости из больших отверстий и из-под щита при полужатопленном отверстии.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Физические свойства жидкости и силы, действующие в жидкости.
2. Что называется гидростатическим давлением? Какими свойствами оно обладает? Доказать эти свойства.
3. Абсолютное и избыточное давление, вакуум - дать определение. Приборы для замера этих величин. Единицы измерения давления. Что называется пьезометрическим напором?
4. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для жидкостей, находящихся в покое.
5. Преобразование уравнений Эйлера для покоящейся жидкости в дифференциальное уравнение приведенного вида. Уравнение поверхности равного давления.
6. Исследование поверхности равного давления для трех случаев действия массовых сил на жидкость: только силы тяжести; силы тяжести и силы инерции; силы тяжести и центробежной силы.
7. Основные уравнения гидростатики, как частный случай приведенного уравнения Эйлера.

8. Сила давления жидкости на плоскую стенку, центр давления. Дать определение, вывести формулы для определения силы давления и координаты центра давления аналитическим способом.
9. Эпюры гидростатического давления на плоскую стенку. Вывод формулы для определения силы давления и центра давления. Силы давления на плоскую стенку графоаналитическим способом.
10. Определение силы давления и центра давления на криволинейную стенку. Вывести формулу силы давления для цилиндрической поверхности.
11. Записать формулы для определения силы давления и центра давления на плоскую стенку аналитическим способом. Формулы пояснить чертежом.
12. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Геометрический и энергетический смысл этого уравнения.
13. Основные понятия гидродинамики: R , ω , $i_{\text{гидр}}$, Q , $V_{\text{ср}}$. Вязкость жидкости и ее измерение.
14. Вывод основного уравнения равномерного движения $\tau = \gamma \cdot R \cdot i$.
15. Опыты Рейнольдса, режимы движения жидкости, критерий режима жидкости.
16. Закон внутреннего трения внутри жидкости при ламинарном режиме.
17. Вывод формулы распределения скоростей при ламинарном режиме (формула Стокса).
18. Вывод формулы для определения потерь напора на трение при ламинарном режиме (формула Пуазейля).
19. Основные положения и теории турбулентности (теория Прандтля).
20. Структура турбулентного потока и его особенности.

Тесты для самостоятельной подготовки

Геометрическое место точек находящихся на бесконечно малом расстоянии друг от друга и образующих кривую так что вектор скорости в каждой ее точке является касательной к этой кривой:

- трубка потока
- трубка тока;
- струйка тока;
- линия тока.

Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения называется:

- открытым сечением;
- живым сечением;
- полным сечением;
- площадь расхода.

Часть периметра живого сечения, ограниченная твердыми стенками называется:

- мокрый периметр;
- периметр контакта;
- смоченный периметр;
- гидравлический периметр.

Объем жидкости, протекающий за единицу времени через живое сечение называется:

- расход потока;
- объемный поток;
- скорость потока;
- скорость расхода.

Уравнение неразрывности течений имеет вид

- $\omega_1 v_2 = \omega_2 v_1 = \text{const};$
- $\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = \text{const};$
- $\omega_1 \omega_2 = v_1 v_2 = \text{const};$
- $\omega_1 / v_1 = \omega_2 / v_2 = \text{const}.$

Уравнение Бернулли для идеальной жидкости имеет вид

- $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$
- $z_1 + \frac{P_1}{2g} + \frac{v_1^2}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{v_2^2}{\rho g}$
- $z_1 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h$
- $z_1 + \frac{v_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{P_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{P_2^2}{2g}$

Уравнение Бернулли для реальной жидкости имеет вид

- $z_1 + \alpha_1 \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \alpha_2 \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - \sum h$
- $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h$

$$\circ \quad z_1 + \frac{P_1}{2g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{\rho g} + \sum h$$

Член уравнения Бернулли, обозначаемый буквой z , называется

- геометрической высотой;
- пьезометрической высотой;
- скоростной высотой;
- потерянной высотой.

Член уравнения Бернулли, обозначаемый выражением $P/\rho g$ называется:

- скоростной высотой;
- геометрической высотой;
- пьезометрической высотой;
- потерянной высотой.

Член уравнения Бернулли, обозначаемый выражением $\rho v^2/2g$ называется

- пьезометрической высотой;
- скоростной высотой;
- геометрической высотой;
- такого члена не существует.

Критическое число Рейнольдса при уменьшении скорости движения жидкости в 10 раз ...

- не изменится
- увеличится в 100 раз
- уменьшится
- увеличится в 10 раз

Число Рейнольдса при уменьшении скорости движения жидкости в 10 раз ...

- не изменится
- увеличится в 100 раз
- уменьшится в 10 раз
- увеличится в 10 раз

Если коэффициент гидравлического трения составляет 0,08, а режим движения ламинарный, то число Рейнольдса для потока жидкости равно ...

- 1600
- 400
- 800

- 6400

Критическая скорость, при которой наблюдается переход от ламинарного течения к турбулентному определяется по формуле:

- $$v_{кр} = \frac{Q_{кр}}{d \cdot Re_{кр}}$$

- $$v_{кр} = \frac{d}{\nu} \cdot Re_{кр}$$

- $$v_{кр} = \frac{\nu \cdot d}{Re_{кр}}$$

- $$v_{кр} = \frac{\nu}{d} \cdot Re_{кр}$$

Различают потери напора

- местные и по длине
- постоянные и кратковременные
- частичные и полные
- напорные и безнапорные

Укажите правильную запись формулы Вейсбаха(Дарси):

- $$h_{пот} = l \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

- $$h_{пот} = \lambda \cdot \frac{l}{v} \cdot \frac{d^2}{2g}$$

- $$h_{пот} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

- $$h_{пот} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{2v^{-2}}{g}$$

Для определения потерь напора служит

- число Рейнольдса;
- формула Вейсбаха-Дарси;
- номограмма Колбрука-Уайта;
- график Никурадзе.

От чего зависит коэффициент гидравлического трения в первой области

турбулентного режима?

- только от числа Re ;
- от числа Re и шероховатости стенок трубопровода;
- только от шероховатости стенок трубопровода;
- от числа Re , от длины и шероховатости стенок трубопровода.

От чего зависит коэффициент гидравлического трения во второй области турбулентного режима?

- только от числа Re ;
- от числа Re и шероховатости стенок трубопровода;
- только от шероховатости стенок трубопровода;
- от числа Re , от длины и шероховатости стенок трубопровода.

От чего зависит коэффициент гидравлического трения в третьей области турбулентного режима?

- только от числа Re ;
- от числа Re и шероховатости стенок трубопровода;
- только от шероховатости стенок трубопровода;
- от числа Re , от длины и шероховатости стенок трубопровода.

Какие трубы имеют наименьшую абсолютную шероховатость?

- чугунные;
- стеклянные;
- стальные;
- медные.

Что такое короткий трубопровод?

- трубопровод, в котором линейные потери напора не превышают 5...10% местных потерь напора;
- трубопровод, в котором местные потери напора превышают 5...10% потерь напора по длине;
- трубопровод, длина которого не превышает значения $100d$;
- трубопровод постоянного сечения, не имеющий местных сопротивлений.

Что такое длинный трубопровод?

- трубопровод, длина которого превышает значение $100d$;
- трубопровод, в котором линейные потери напора не превышают 5...10% местных потерь напора;
- трубопровод, в котором местные потери напора меньше 5...10% потерь напора по длине;
- трубопровод постоянного сечения с местными сопротивлениями.

На какие виды делятся длинные трубопроводы?

- на параллельные и последовательные;
- на простые и сложные;
- на прямолинейные и криволинейные;
- на разветвленные и составные.

Что такое характеристика трубопровода?

- зависимость давления на конце трубопровода от расхода жидкости;
- зависимость суммарной потери напора от давления;
- зависимость суммарной потери напора от расхода;
- зависимость сопротивления трубопровода от его длины.

Статический напор Н_{ст} это:

- разность геометрической высоты Δz и пьезометрической высоты в конечном сечении трубопровода;
- сумма геометрической высоты Δz и пьезометрической высоты в конечном сечении трубопровода;
- сумма пьезометрических высот в начальном и конечном сечении трубопровода;
- разность скоростных высот между конечным и начальным сечениями.

При истечении жидкости из отверстий основным вопросом является

- определение скорости истечения и расхода жидкости;
- определение необходимого диаметра отверстий;
- определение объема резервуара;
- определение гидравлического сопротивления отверстия.

Чем обусловлено сжатие струи жидкости, вытекающей из резервуара через отверстие

- вязкостью жидкости;
- движением жидкости к отверстию от различных направлений;
- давлением соседних с отверстием слоев жидкости;
- силой тяжести и силой инерции.

Что такое совершенное сжатие струи?

- наибольшее сжатие струи при отсутствии влияния боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
- наибольшее сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
- сжатие струи, при котором она не изменяет форму поперечного сечения;
- наименьшее возможное сжатие струи в непосредственной близости

от отверстия.

Коэффициент сжатия струи характеризует

- степень изменение кривизны истекающей струи;
- влияние диаметра отверстия, через которое происходит истечение, на сжатие струи;
- степень сжатия струи;
- изменение площади поперечного сечения струи по мере удаления от резервуара.

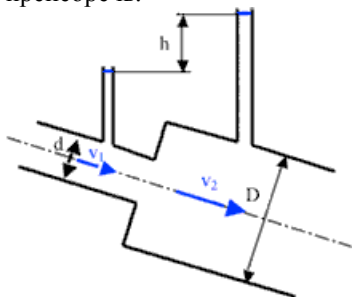
Типовые задачи для самостоятельной подготовки

Виды движения жидкости. Основные гидравлические характеристики потока и элементы живого сечения.

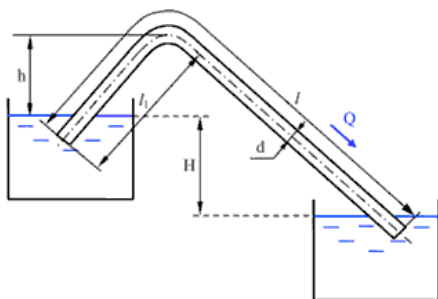
1. Труба, по которой течет вода, имеет переменное сечение. Определить скорость во втором сечении, если скорость в первом сечении $v_1=0,05$ м/с; $d_1=0,2$ м; $d_2=0,1$ м.
2. По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью $v = 0,2$ м/с. Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус $R = 0,015$ м.

Основные уравнения гидродинамики. Уравнение Бернулли.

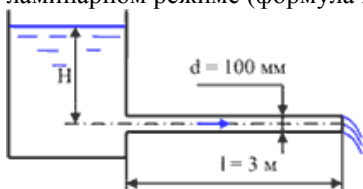
3. При внезапном расширении трубопровода скорость жидкости в трубе меньшего диаметра равна $v_1 = 4$ м/с. Определить разность показаний пьезометров h , если отношение диаметров труб $D/d = 2$. Потерями напора пренебречь.



4. Из одного резервуара в другой поступает вода по сифонному трубопроводу диаметром $d = 50$ мм, длиной $l = 10$ м. Разность уровней воды в резервуарах $H = 1,2$ м. Превышение наивысшей точки сифона над уровнем воды в первом резервуаре $h = 1$ м. Определить расход воды в сифоне и абсолютное давление в наивысшей точке сифона, если длина от начала сифона до этой точки $l_1 = 4$ м. Коэффициент Дарси принять равным $\lambda = 0,03$, коэффициент потерь на плавном повороте $\zeta_{пов} = 0,45$.



5. По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм и длиной $l = 3$ м движется вода. Чему равен напор H , при котором происходит смена ламинарного режима турбулентным? Местные потери напора не учитывать. Температура жидкости $t = 20$ °С. Указания. Воспользоваться формулой для потерь на трения при ламинарном режиме (формула Пуазейля).



6. По трубе диаметром $d = 50$ мм движется вода. Определить расход, при котором турбулентный режим движения сменится ламинарным, если температура воды $t = 15$ °С.

Режимы движения жидкости

7. Определить число Рейнольдса и режим движения воды в водопроводной трубе диаметром $d = 300$ мм, если расход $Q = 0,136$ м³/с. Коэффициент кинематической вязкости для воды (при $t = 10$ °С) $\nu = 1,306 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

22. Как изменяется число Рейнольдса при переходе трубопровода от меньшего диаметра к большему при сохранении постоянства расхода ($Q = \text{const}$)?

Определение потерь напора

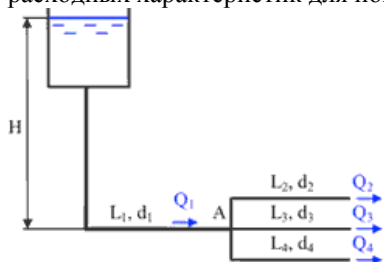
8. Определить потери напора в трубопроводе прямоугольного сечения размером (300 x 400) мм и длиной $L = 300$ м. Эквивалентная шероховатость $\Delta = 0,3$ мм, расход воды $Q = 60$ л/с. Температура 20 °С

24. Определить потери напора в стальном трубопроводе ($\Delta = 0,5$ мм) диаметром $d = 100$ мм и длиной $L = 500$ м, если расход воды $Q = 50$ л/с, а ее температура 20 °С.

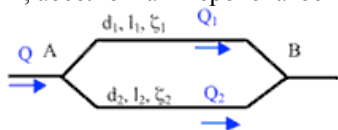
Гидравлические расчёты трубопроводов

9. Определить общий расход воды Q_1 , поступающей по системе труб под напором $H = 5,12$ м. Диаметры труб: $d_1 = 150$ мм; $d_2 = d_3 = d_4 = d = 125$ мм.

Длина труб: $L_1 = 160$ м; $L_2 = L_3 = L_4 = L = 80$ м. Воспользоваться значениями расходных характеристик для новых водопроводных (стальных) труб.

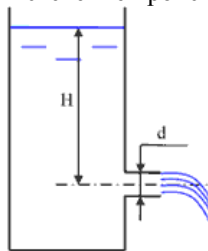


10. Трубопровод, пропускающий расход $Q = 33$ л/с, разветвляется в точке А на два, которые соединяются в точке В. Перепад давлений в точках А и В составляет $\Delta p = 0,49$ МПа. Определить диаметры участков трубопровода d_1 и d_2 , исходя из того, чтобы расход на втором участке был бы в два раза больше, чем на первом. Коэффициенты местных гидравлических сопротивлений участков соответственно равны $\zeta_1 = 20$ и $\zeta_2 = 18$; длины участков $l_1 = l_2 = 1000$ м, абсолютная шероховатость $\Delta = 0,1$ мм, температура воды $t = 20$ °С.



Истечение жидкости из отверстий и насадков

11. Определить напор в баке, если расход воды при истечении через цилиндрический насадок диаметром $d = 0,05$ м составляет $Q = 0,05$ м³/с. Истечение происходит при постоянном напоре.



Техническая термодинамика

Введение. Основные понятия и определения термодинамики. Смеси идеальных газов. Предмет и метод технической термодинамики. Энергия, виды энергии и ее свойства. Теплота и работа как формы передачи энергии, Рабочее тело, Параметры определяющие состояние рабочего тела. Термодинамическая система. Тепловое состояние. Равновесные и неравновесные состояния. Термодинамический процесс. Уравнение состояния идеальных газов.

Состав смеси в массовых, объемных и молярных долях, соотношение между массовыми и объемными долями. Плотность смеси. Газовая постоянная смеси.

Теплоемкость. Первый и второй законы термодинамики. Массовая, объемная и молярная теплоемкости газа и зависимости между ними. Средняя и истинная теплоемкости газа. Теплоемкость при постоянном объеме и при постоянном давлении. Формулы и таблицы для определения теплоемкости газов. Теплоемкости смеси газов.

Содержание закона и его формулировки. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Внутренняя энергия и ее свойства. Энтальпия газа. Работа газа, ее определение и графическое изображение в координатах pV .

Термодинамическая вероятность, необратимость и статистика. Термодинамическая вероятность и энтропия. Энтропия и теплообмен. Энтропия газов. Содержание второго закона и его формулировки. Аналитическое выражение второго закона. Основное уравнение термодинамики и вычисление энтропии. Диаграммы состояния $T-s$ и $h-s$.

Исследование термодинамических процессов. Круговые процессы. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы – частные случаи политропного процесса. Их изображение в координатах pV и Ts . Политропный процесс. Уравнение политропы, Определение показателя политропы. Соотношения параметров. Определение работы, теплоемкости и теплоты во всех процессах.

Общие сведения, термический КПД и холодильный коэффициент циклов. Цикл Карно. Эксергия. Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы поршневых компрессоров.

Водяной пар. Влажный воздух. Процесс парообразования в pV , Ts , hs координатах. Параметры и функции состояния жидкости и пара. Диаграммы состояния водяного пара. Термодинамические процессы водяного пара. Термодинамические таблицы водяного пара.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Что такое термодинамическая система, термодинамический процесс?
2. Термические параметры состояния.
3. Уравнения состояния для идеальных газов.
4. Что такое работа, теплота. Понятие о внутренней энергии. Изображение работы и тепла в диаграммах $P-V$ и $T-S$.
5. Математическое выражение первого закона термодинамики для идеальных реальных газов.
6. Теплоемкость. Различные виды теплоемкости и связь между ними.
7. Физическая сущность энтальпии.
8. Зависимость энтропии от основных термодинамических параметров.
9. Исследование изохорного процесса, изобразить в диаграммах $P-V$ и $T-S$.

10. Исследование изобарического процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
11. Исследование изотермического процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
12. Исследование адиабатного процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
13. Исследование политропного процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
14. Сущность второго закона термодинамики и основные его формулировки.
15. Цикл Карно, вывод формулы КПД цикла.

Тесты для самостоятельной подготовки

Если условно в объеме, который занимает смесь газов, оставить только один компонент, не изменяя температуры, то давление оставленного компонента будет равно:

- Абсолютному давлению.
- Парциальному давлению.
- Избыточному давлению

Величина μR в уравнении состояния идеального газа носит название:

- Газовой постоянной.
- Универсальной газовой постоянной.
- Постоянной Больцмана.

Укажите формулу связи теплоемкостей c_v и c_p для идеального газа (формулу Майера).

- $c_p = c_v$.
- $c_p - c_v = R$.
- $c_p / c_v = k$.

Определить массовую теплоемкость c_p , если: $\mu c_p = 32,8$ кДж/(кмоль·К); $\mu = 27,8$.

- 1,18
- 1,26
- 1,46
- 1,09

При увеличении энтропии ($S_2 > S_1$):

- Теплота не подводится и не отводится.
- Теплота отводится.
- Теплота подводится.

Укажите аналитическое выражение второго закона термодинамики.

- $ds \geq \delta q / T$.

- $\delta q = du + p dv$.
- $\delta q = dh - v dp$.

Для изотермического процесса:

- показатель политропы равен 1
- показатель политропы равен 0
- показатель политропы равен k
- показатель политропы равен $\pm \infty$

Указать формулу изменения энтропии в изохорном процессе.

- $c_p \ln(T_2/T_1)$
- $c_v \ln(T_2/T_1)$
- $c_v \ln(T_2/T_1) + R \ln(v_2/v_1)$
- $R \ln(v_2/v_1)$

Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме:

- реализуется в дизелях
- реализуется в дизелях и бензиновых двигателях
- реализуется только в бензиновых двигателях
- реализуется в бензиновых и газовых двигателях

К газу в круговом процессе подведено 250 кДж/кг теплоты. Термический КПД равен 0,5. Найти работу, полученную в цикле.

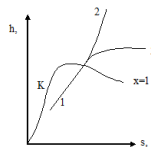
- 125 кДж/кг.
- 500 кДж/кг.
- 250 кДж/кг.

Пар, вода и лед одновременно находятся в равновесии в _____ точке.

- тройной
- критической
- кюри
- росы

Процесс 1-3, показанный на h-s диаграмме:

- Изохорный
- Изобарный
- Изотермический



Укажите температуру начала выпадения влаги из влажного воздуха.

- При температуре мокрого термометра.
- При температуре выше температуры точки росы.
- При температуре точки росы.

Отношение массы водяного пара m_v , содержащегося во влажном воздухе, к массе сухого воздуха m_s называется...

- влажосодержанием
- относительной влажностью
- абсолютной влажностью
- точкой росы

Типовые задачи для самостоятельной подготовки

1. Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду (см. рис. 2), показывает разрежение $p = 56$ кПа (420 мм рт. ст.) при температуре ртути в вакуумметре $t = 20^\circ\text{C}$. Давление атмосферы по ртутному барометру $B = 102,4$ кПа (768 мм рт. ст.) при температуре ртути $t = 18^\circ\text{C}$. Определить абсолютное давление в сосуде.
2. Определить абсолютное давление в конденсаторе паровой турбины, если показание присоединенного к нему ртутного вакуумметра равно 94 кПа (705 мм рт. ст.), а показание ртутного барометра, приведенное к 0°C , $B_0 = 99,6$ кПа (747 мм рт. ст.). Температура воздуха в месте установки прибором $t = 20^\circ\text{C}$.
3. Определить массу кислорода, содержащегося в баллоне емкостью 60 л, если давление кислорода по манометру равно 1,08 МПа, а показание ртутного барометра – 99 325 Па при температуре 25°C .
4. Резервуар объемом 4 м^3 заполнен углекислым газом. Найти массу и силу тяжести (вес) газа в резервуаре, если избыточное давление газа $p = 40$ кПа, температура его $t = 80^\circ\text{C}$, а барометрическое давление воздуха $B = 102,4$ кПа.
5. Определить среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме для азота в пределах $200 - 800^\circ\text{C}$, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.
6. Вычислить значение истинной мольной теплоемкости кислорода при постоянном давлении для температуры 1000°C , считая зависимость теплоемкости от температуры линейной. Найти относительную ошибку по сравнению с табличными данными.
7. Мощность турбогенератора 12 000 кВт, к. п. д. генератора 0,97. Какое количество воздуха нужно пропустить через генератор для его охлаждения, если конечная температура воздуха не должна превышать 55°C ? Температура в машинном отделении равна 20°C ; среднюю теплоемкость воздуха c_{pm} принять равной $1,0\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

8. В котельной электрической станции за 20 ч работы сожжены 62 т каменного угля, имеющего теплоту сгорания 28 900 кДж/кг. Определить среднюю мощность станции, если в электрическую энергию превращено 18% теплоты, полученной при сгорании угля.
9. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м³ воздуха при постоянном избыточном давлении $p = 0,2$ МПа от $t_1 = 100^\circ\text{C}$ до $t_2 = 500^\circ\text{C}$? Какую работу при этом совершит воздух? Давление атмосферы принять равным 101 325 Па.
10. Определить количество теплоты, необходимое для нагревания 2000 м³ воздуха при постоянном давлении $p = 0,5$ МПа от $t_1 = 150^\circ\text{C}$ до $t_2 = 600^\circ\text{C}$. Зависимость теплоемкости от температуры считать нелинейной.
11. Найти давление, удельный объем и плотность воды, если она находится в состоянии кипения и температура ее равна 250°C .
12. Найти диаметр паропровода, по которому протекает пар при давлении $p = 1,2$ МПа и температуре $t = 260^\circ\text{C}$. Расход пара 350 кг/ч, скорость пара $w = 50$ м/с.
13. Найти массу, внутреннюю энергию, энтальпию и энтропию 6 м³ насыщенного водяного пара при давлении $p = 1,2$ МПа и сухости пара $x = 0,9$.
14. Задано состояние пара: $p = 2$ МПа; $t = 340^\circ\text{C}$. Определить, пользуясь диаграммой is значения s , t_n и перегрев пара

Теория теплообмена

Основные понятия и определения теплообмена.

Теплопроводность.

Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в процессах хранения и переработки продуктов питания. Основные понятия и определения. Виды переноса тепла: теплопроводность. Конвекция и излучение. Сложный теплообмен.

Температурное поле, Температурный градиент. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенок.

Конвективный теплообмен. Теплоотдача при фазовых переходах.

Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена. Основы теории подобия. Теплоотдача при свободном и вынужденном движениях жидкости.

Теплопередача.

Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенки. Коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление теплопередаче.

Теплопередача через цилиндрическую однослойную и многослойную стенки. Тепловая изоляция.

Теплообмен излучением. Основные понятия и определения. Законы излучения реальных тел. Теплообмен между поверхностями тел, угловые коэффициенты. Особенности излучения газов. Коэффициент теплоотдачи излучением.

Основы расчета теплообменных аппаратов. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Принцип расчета теплообменных аппаратов. Конструктивный и поверочный тепловые расчеты теплообменных аппаратов. Средний температурный напор. Основы гидродинамического расчета теплообменных аппаратов.

Способы интенсификации теплообмена при однофазном течении газов и жидкости, при кипении и конденсации применительно к высокоэффективным теплообменным аппаратам. Современные конструкции трубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов. Методы оценки эффективности интенсификации теплообмена и оптимизация теплообменных аппаратов.

Номера задач контрольной работы

Предпоследняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10, 20, 30, 40, 41	1, 12, 23, 34, 41	10, 19, 28, 37, 41	2, 14, 26, 38, 41	3, 11, 29, 37, 41	5, 14, 25, 34, 41	6, 17, 26, 37, 41	7, 20, 23, 36, 41	8, 15, 22, 39, 41	9, 14, 29, 34, 41
1	1, 11, 21, 31, 41	2, 13, 24, 35, 41	9, 18, 27, 36, 41	3, , 27, 39, 41	4, 12, 30, 38, 41	6, 15, 26, 35, 41	5, 16, 25, 36, 41	8, 11, 24, 37, 41	9, 16, 23, 40, 41	10, 16, 23, 39, 41
2	2, 12, 22, 32, 41	3, 14, 25, 36, 41	8, 17, 26, 35, 41	4, 16, 28, 40, 41	5, 13, 21, 39, 41	7, 16, 27, 36, 41	4, 15, 24, 35, 41	9, 12, 25, 38, 41	10, 17, 24, 31, 41	1, 16, 21, 36, 41
3	3, 13, 23, 33, 41	4, 15, 26, 37, 41	7, 16, 25, 34, 41	5, 17, 29, 31, 41	6, 14, 22, 40, 41	8, 17, 28, 37, 41	3, 14, 23, 34, 41	10, 13, 26, 39, 41	7, 14, 21, 38, 41	4, 20, 26, 32, 41
4	4, 14, 24, 34, 41	5, 16, 27, 38, 41	6, 15, 24, 33, 41	6, 18, 30, 32, 41	7, 17, 23, 31, 41	9, 18, 29, 38, 41	2, 13, 22, 33, 41	1, 14, 27, 40, 41	6, 13, 30, 37, 41	5, 11, 27, 33, 41
5	5, 15, 25, 35, 41	6, 17, 28, 39, 41	5, 14, 23, 32, 41	7, 19, 21, 33, 41	8, 16, 24, 32, 41	10, 19, 30, 39, 41	1, 12, 21, 32, 41	2, 15, 28, 31, 41	5, 12, 29, 36, 41	8, 14, 30, 36, 41
6	6, 16, 26, 36, 41	7, 18, 29, 40, 41	4, 13, 22, 31, 41	8, 20, 22, 34, 41	9, 17, 25, 33, 41	2, 11, 22, 31, 41	7, 18, 27, 38, 41	3, 16, 29, 32, 41	1, 18, 25, 32, 41	7, 13, 29, 35, 41
7	7, 17, 27, 37, 41	8, 19, 30, 31, 41	3, 12, 21, 40, 41	9, 11, 23, 35, 41	10, 18, 26, 34, 41	3, 12, 23, 31, 41	10, 11, 30, 31, 41	4, 17, 30, 33, 41	2, 19, 26, 33, 41	6, 12, 28, 34, 41
8	8, 18, 28, 38, 41	9, 20, 21, 32, 41	2, 11, 30, 39, 41	10, 12, 24, 36, 41	1, 19, 27, 35, 41	4, 13, 24, 33, 41	9, 20, 29, 40, 41	5, 18, 21, 34, 41	3 20, 27, 34, 41	2, 17, 23, 39, 41
9	9, 19, 29, 39, 41	10, 11, 22, 33, 41	1, 20, 29, 38, 41	1, 13, 25, 37, 41	2, 20, 28, 36, 41	1, 20, 21, 40, 41	8, 19, 28, 39, 41	6, 19, 22, 35, 41	4, 11, 28, 35, 41	3, 18, 24, 40, 41

2. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.

ТЕМА 1 Приборы для измерения давления

Задача 1. (Рис. 1.1.) Определить приведенную пьезометрическую высоту h_x поднятия пресной воды в закрытом пьезометре (соответствующую абсолютному гидростатическому давлению в точке A), если показание открытого пьезометра $h=0,7$ м при атмосферном давлении $p_{ат} = 100$ кПа, расстояния от свободной поверхности жидкости в резервуаре до точек A и B соответственно $h_1 = 0,5$ м и $h_2 = 0,2$ м.

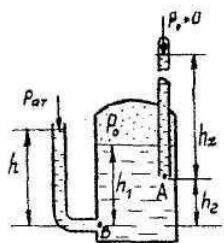
Задача 2. (Рис. 1.2). Закрытый резервуар с морской водой снабжен открытым и закрытым пьезометрами. Определить приведенную пьезометрическую высоту h_x поднятия воды в закрытом пьезометре (соответствующую абсолютному гидростатическому давлению в точке A), если показание открытого пьезометра $h = 1,2$ м при атмосферном давлении $p_{ат} = 100$ кПа, а точка A расположена выше точки B на величину $h_1 = 0,4$ м.

Задача 3. (Рис. 1.3). Определить абсолютное гидростатическое давление в точке A закрытого резервуара с дистиллированной водой, если при атмосферном давлении $p_{ат} = 100$ кПа высота столба ртути в трубке дифманометра $h = 0,6$ м, а линия раздела между ртутью и водой расположена ниже точки B на величину $h_1 = 0,4$ м, точка B — выше точки A на величину $h_2 = 0,3$ м.

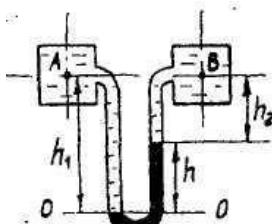
Задача 4. (Рис. 1.4). Закрытый резервуар снабжен дифманометром, установленным в точке B , и закрытым пьезометром. Определить приведенную пьезометрическую высоту h_x поднятия пресной воды в закрытом пьезометре (соответствующую абсолютному гидростатическому давлению в точке A), если при атмосферном давлении $p_{ат} = 100$ кПа высота столба ртути в трубке дифференциального манометра $h = 0,3$ м, а точка A расположена на глубине $h_1 = 0,7$ м от свободной поверхности.

Задача 5. (Рис. 1.5). Определить при атмосферном давлении $p_{ат} = 100$ кПа высоту h_x поднятия ртути в дифференциальном манометре, подсоединенном к закрытому резервуару в точке B , частично заполненному дистиллированной водой, если глубина погружения точки A от свободной поверхности резервуара $h_1 = 0,3$ м, приведенная пьезометрическая высота поднятия воды в закрытом пьезометре (соответствующая абсолютному гидростатическому давлению в точке A) $h_2 = 1,7$ м.

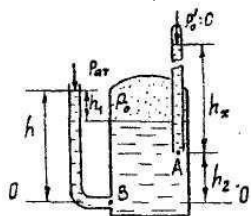
Задача 6. (Рис. 1.6). К двум резервуарам A и B , заполненным морской водой, присоединен дифференциальный ртутный манометр. Составить уравнение равновесия относительно плоскости равного давления и определить разность давлений в резервуарах A и B , если расстояния от оси резервуаров до мениска ртути равны $h_1 = 0,4$ м и $h_2 = 0,2$ м.



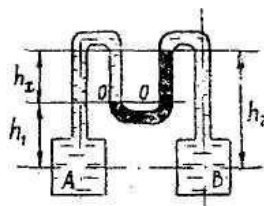
1.1)



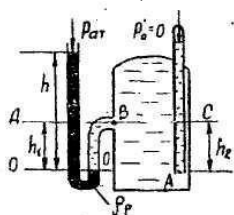
1.6)



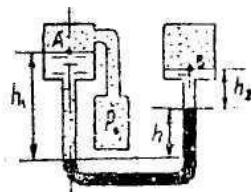
1.2)



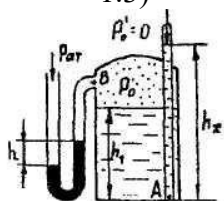
1.7)



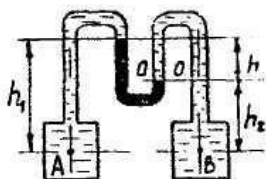
1.3)



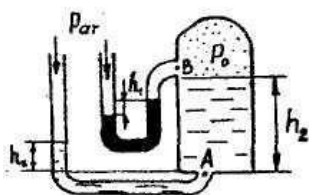
1.8)



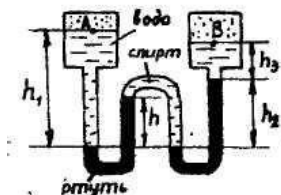
1.4)



1.9)



1.5)



1.10)

Рис. 1.1 – 1.10. Приборы для измерения давлений

Задача 7. (Рис. 1.7). Дифференциальный ртутный манометр подключен к двум закрытым резервуарам с пресной водой, давление в резервуаре A равно $p_A = 210$ кПа. Определить давление в резервуаре B — p_B , составив уравнение равновесия относительно плоскости равного давления, если разность показания ртутного дифманометра $h_x = 0,3$ м.

Таблица 1 – Удельный вес и плотность некоторых жидкостей

№ п/п	Название жидкости	Температура, $t^{\circ}\text{C}$	Плотность ρ , кг/м^3	Удельный вес γ , кН/м^3
1	Пресная вода	10	999,73	9,80400
2	Морская вода	15	1020—1030	10,00278 – 10,100085
3	Дистиллированная вода	20	992,215	9,7336
4	Ртуть	20	13546	132,841
5	Керосин	15	790—820	7,74725 – 8,04145
6	Нефть натуральная	15	700—900	6,86465 – 8,82598
7	Спирт этиловый	15-18	790	7,74725

Задача 8. (Рис. 1.8). Резервуары A и B частично заполнены водой разной плотности (соответственно $\rho_A = 998$ кг/м^3 , $\rho_B = 1029$ кг/м^3) и газом, причем, к резервуару A подключен баллон с газом. Высота столба ртути в трубке дифманометра $h = 0,17$ м, а расстояния от оси резервуаров до мениска ртути равны $h_1 = 0,4$ м и $h_2 = 0,13$ м. Какое необходимо создать давление p_0 в баллоне, чтобы получить давление $p_B = 112$ кПа на свободной поверхности в резервуаре B ?

Задача 9. (Рис. 1.9). К двум резервуарам A и B , заполненным нефтью, присоединен дифференциальный ртутный манометр.

Определить разность давлений в точках A и B , составив уравнение равновесия относительно плоскости равного давления. Разность показаний манометра $h = 0,28$ м.

Задача 10. (Рис. 1.10). Резервуары A и B частично заполнены пресной водой и газом. Определить избыточное давление газа на поверхности воды закрытого резервуара B , если избыточное давление на поверхности воды в закрытом резервуаре A равно $p_A = 99$ кПа, разность уровней ртути в двухколенном дифманометре $h = 0,35$ м, мениск ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на величину $h_1 = 0,8$ м в правой трубке $h_3 = 0,25h_1$, высота подъема ртути в правой трубке манометра $h_2 = 0,3$ м. Пространство между уровнями ртути в манометре заполнено этиловым спиртом.

ТЕМА 2. Использование гидростатического давления в механизмах

Задача 11. Для опрессовки водой (проверки на герметичность) трубопровода диаметром $D = 100$ мм и длиной $L = 300$ м применяется ручной поршневой насос (рис. 2.1) с диаметром поршня $d_1 = 40$ мм и отношением плеч рычажного механизма $a/b = 6$. Определить объем воды, который нужно накачать в трубопровод для повышения избыточного давления в нем от 0 до 1,5 МПа. Считать трубопровод абсолютно жестким. Чему равно усилие на рукоятке насоса в последний момент опрессовки?

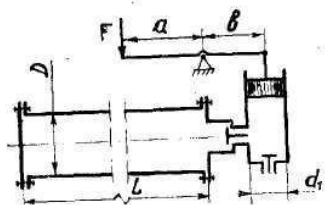
Задача 12. Определить давление в гидросистеме (рис. 2.2), заполненной минеральным маслом ($\rho_m = 920$ кг/м³), и массу груза m , лежащего на большем поршне, если для его подъема приложена сила $F = 200$ Н к меньшему поршню. Диаметры поршней соответственно $D = 200$ мм, $d = 40$ мм. Разностью высот поршней пренебречь.

Задача 13. Определить нагрузки на болты левой и правой крышек гидроцилиндра (рис. 2.3) диаметром $D = 160$ мм, если к плунжеру диаметром $d = 50$ мм приложена сила $F = 500$ Н.

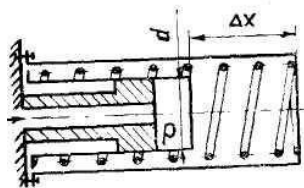
Задача 14. Предохранительный клапан дифференциального типа (рис. 2.4), предназначенный для защиты насоса от перегрузки, начинает открываться (для пропуска жидкости в бак) при избыточном давлении $p_1 = 1,6$ МПа. Диаметры клапана $D = 32$ мм, $d = 16$ мм. Давление p_2 справа от большого и слева от малого поршней равно атмосферному. Определить величину предварительного сжатия пружины (мм), если жесткость ее $c = 50$ Н/мм. Силами трения пренебречь.

Задача 15. Для определения модуля объемной упругости жидкости $E_{ж}$ используется установка (рис. 2.5). Резервуар диаметром $D = 300$ мм, высотой $h = 1,3$ м и присоединенный к нему гидроцилиндр диаметром $d = 80$ мм заполнены испытываемой жидкостью так, что начальная высота положения поршня (без груза) $H = 1,5$ м. После установки на платформу штока груза массой $m = 250$ кг поршень переместился вниз на расстояние $\Delta h = 5$ мм. Вычислить величину модуля объемной упругости жидкости. Весом поршня пренебречь. Резервуар считать абсолютно жестким.

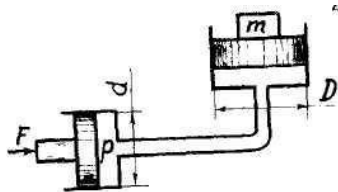
Задача 16. В пружинном гидроаккумуляторе (рис. 2.6) энергия накапливается за счет сжатия пружины при перемещении гидроцилиндра вправо относительно неподвижного поршня под давлением p жидкости, поступающей через отверстие в штоке. Диаметр поршня $d = 40$ мм, жесткость пружины $c = 40$ Н/мм, сила предварительного сжатия ее 2000 Н, перемещение гидроцилиндра при зарядке гидроаккумулятора $\Delta x = 100$ мм. Определить давление в начале и в конце зарядки гидроаккумулятора. Силами трения пренебречь.



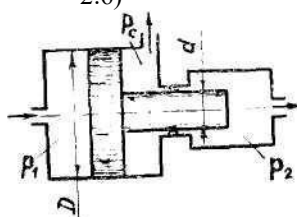
2.1)



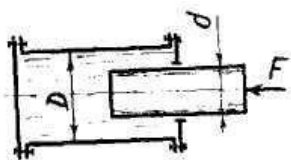
2.6)



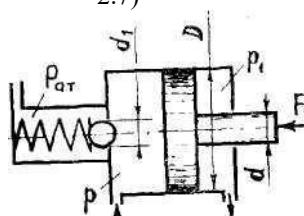
2.2)



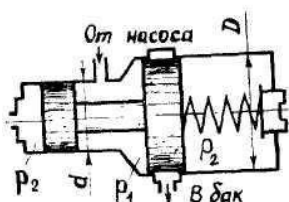
2.7)



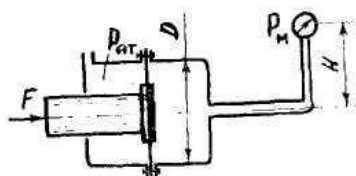
2.3)



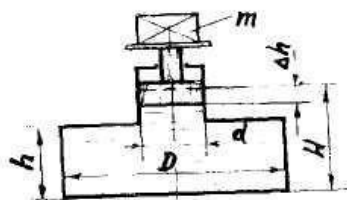
2.8)



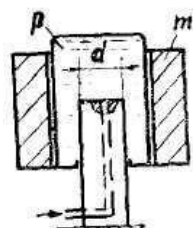
2.4)



2.9)



2.5)



2.10)

Рис. 2.1 – 2.10 Использование гидростатического давления в механизмах

Задача 17. На рис. 2.7 представлен преобразователь давления (мультипликатор) возвратно-поступательного действия. Определить давление p_2 , получаемое на выходе его, если в рабочую полость большего цилиндра подается жидкость под давлением $p_1 = 5$ МПа, а противодавление сливной линии $p_c = 0,05$ МПа, диаметры поршня $D = 80$ мм и плунжера $d = 40$ мм. Силами трения в уплотнителях пренебречь.

Задача 18. Гидроцилиндр (рис. 2.8) предназначен для возвратно-поступательного перемещения рабочего органа, присоединенного к штоку. Защита его от перегрузки обеспечивается шариковым предохранительным клапаном. Какое давление p нужно создать в бесштоковой полости гидроцилиндра, чтобы преодолеть рабочее усилие на штоке $F_1 = 20$ кН, если диаметры цилиндра $D = 80$ мм и штока $d = 40$ мм, давление в штоковой полости (противодавление сливной линии) $p_1 = 0,05$ МПа? На какое усилие F_n нужно предварительно сжать пружину, чтобы шариковый клапан открывался при усилии на штоке $1,3 F_1$, если диаметр входного отверстия (седла клапана) $d_1 = 10$ мм? Силами трения пренебречь.

Задача 19. Определить силу F , действующую на шток гибкой диафрагмы (рис. 2.9), если ее диаметр $D = 200$ мм, полость справа и трубка манометра заполнены водой, показание манометра $p_m = 0,2$ МПа, он установлен на высоте $H = 2$ м, давление в левой полости — атмосферное.

Задача 20. Для накопления энергии используется грузовой гидроаккумулятор (рис. 2.10), имеющий диаметр плунжера $d = 100$ мм. Определить общую массу груза m , необходимую для создания давления в цилиндре $p = 2,0$ МПа, и запасаемую аккумулятором энергию при подъеме гидроцилиндра с грузом на высоту $H = 1$ м. Силы трения не учитывать.

Номера задач контрольной работы

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1, 11, 21, 31, 50, 60	2, 20, 23, 40, 50, 51	3, 12, 30, 38, 50, 53	13, 21, 36, 50, 55	5, 11, 22, 33, 50, 57	6, 20, 21, 32, 50, 59	7, 11, 22, 33, 50, 51	8, 20, 23, 37, 50, 53	9, 11, 30, 38, 50, 55	10, 11, 28, 34, 50, 57
1	2, 12, 22, 32, 49, 59	3, 19, 21, 39, 49, 52	4, 13, 29, 37, 49, 54	5, 15, 22, 34, 49, 56	6, 12, 25, 31, 49, 58	7, 19, 2, 31, 49, 60	8, 12, 21, 31, 49, 52	9, 19, 21, 36, 49, 54	10, 12, 29, 36, 49, 56	1, 20, 26, 36, 49, 58
2	3, 13, 23, 33, 48, 58	4, 18, 22, 38, 48, 53	5, 14, 28, 36, 48, 55	6, 14, 3, 33, 48, 57	7, 13, 23, 32, 48, 59	8, 16, 29, 36, 48, 51	9, 13, 23, 35, 48, 53	10, 18, 22, 35, 48, 55	1, 13, 27, 39, 48, 57	2, 13, 30, 38, 48, 59
3	4, 14, 24, 34, 47, 57	5, 17, 26, 37, 47, 54	6, 15, 2, 35, 47, 56	7, 17, 24, 35, 47, 58	8, 14, 24, 34, 47, 60	9, 18, 2, 34, 47, 52	10, 14, 25, 32, 47, 54	1, 17, 25, 33, 47, 56	2, 15, 25, 3, 47, 58	3, 16, 25, 35, 47, 60
4	5, 15, 25, 35, 46, 56	6, 16, 24, 34, 46, 55	7, 16, 26, 34, 46, 57	8, 18, 25, 32, 46, 59	9, 15, 27, 40, 46, 51	10, 17, 24, 33, 46, 53	1, 15, 24, 3, 46, 55	2, 16, 24, 34, 46, 57	3, 14, 24, 31, 46, 59	4, 19, 22, 33, 46, 1
5	6, 16, 26, 36, 45, 55	7, 15, 28, 36, 45, 56	8, 17, 25, 33, 45, 58	9, 16, 26, 31, 45, 60	10, 16, 26, 38, 45, 52	1, 15, 23, 38, 45, 54	2, 16, 27, 36, 45, 56	3, 15, 28, 32, 45, 58	4, 16, 23, 32, 45, 60	5, 12, 29, 31, 45, 52
6	7, 17, 27, 37, 44, 54	8, 14, 27, 35, 44, 57	9, 18, 24, 32, 4, 59	10, 11, 27, 38, 44, 51	1, 17, 21, 35, 44, 53	2, 14, 2, 3, 44, 55	3, 17, 26, 38, 44, 57	4, 14, 26, 31, 44, 59	5, 20, 26, 34, 44, 51	6, 18, 27, 32, 44, 53
7	8, 18, 28, 38, 43, 53	9, 13, 25, 33, 43, 58	10, 19, 23, 39, 43, 60	1, 19, 28, 37, 43, 52	2, 18, 28, 37, 43, 54	3, 13, 27, 37, 43, 56	4, 18, 29, 39, 43, 58	5, 13, 27, 38, 43, 60	6, 17, 28, 40, 43, 52	7, 14, 24, 39, 43, 54
8	9, 19, 29, 39, 42, 52	10, 11, 30, 31, 42, 59	1, 20, 22, 40, 42, 51	2, 12, 29, 39, 42, 53	3, 19, 29, 36, 42, 55	4, 12, 28, 40, 42, 57	5, 19, 28, 40, 42, 59	6, 12, 29, 3, 42, 51	7, 18, 21, 35, 42, 53	8, 15, 21, 40, 42, 55
9	10, 20, 30, 40, 41, 51	1, 12, 29, 32, 41, 60	2, 11, 21, 31, 41, 5	3, 20, 30, 40, 41, 54	4, 20, 30, 39, 41, 56	5, 11, 30, 39, 41, 58	6, 20, 30, 37, 41, 60	7, 11, 30, 40, 41, 52	8, 19, 22, 37, 41, 54	9, 17, 23, 37, 41, 56

Тема 3: Параметры состояния тела

1. Определить абсолютное давление в сосуде, если показание присоединенного к нему ртутного манометра равно 66,7 кПа (500 мм рт. ст.), а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 100 кПа (750 мм рт. ст.). Температура воздуха в месте установки приборов равна 0°C .

Отв. $p_{abc} = 0,1667 \text{ МПа}$

2. Найти абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает $p = 0,13 \text{ МПа}$, а атмосферное давление по ртутному барометру составляет $B = 680 \text{ мм рт. ст. (90 660 Па)}$ при $t = 25^{\circ}\text{C}$.

3. Давление в паровом котле $p = 0,04 \text{ МПа}$ при барометрическом давлении $B_{01} = 96 660 \text{ Па (725 мм рт. ст.)}$.

Чему будет равно избыточное давление в котле, если показание барометра повысится до $B_{02} = 104 660 \text{ Па (785 мм рт. ст.)}$, а состояние пара в котле останется прежним?

Барометрическое давление приведено к 0°C .

4. Какая высота водяного столба соответствует 10 Па?

Отв. $h = 1 \text{ мм}$.

5. Определить абсолютное давление в конденсаторе парвой турбины, если показание присоединенного к нему ртутного вакуумметра равно 94 кПа (705 мм рт. ст.), а показание ртутного барометра, приведенное к 0°C , $B_0 = 99,6 \text{ кПа (747 мм рт. ст.)}$. Температура воздуха в месте установки прибором $t = 20^{\circ}\text{C}$.

Отв. $p = 60 \text{ кПа}$.

6. Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду (см. рис. 2), показывает разрежение $p = 56$ кПа (420 мм рт. ст.) при температуре ртути в вакуумметре $t = 20^{\circ}\text{C}$. Давление атмосферы по ртутному барометру $B = 102,4$ кПа (768 мм рт. ст.) при температуре ртути $t = 18^{\circ}\text{C}$.

Определить абсолютное давление в сосуде.

7. В трубке вакуумметра высота столба ртути составляет 570 мм при температуре ртути 20°C . Над ртутью находится столб воды высотой 37 мм. Барометрическое давление воздуха 97,1 кПа при 15°C .

Найти абсолютное давление в сосуде.

Отв. $p = 20,7$ кПа.

8. Присоединенный к газоходу парового котла тягомер показывает разрежение, равное 780 Па (80 мм вод. ст.).

Определить абсолютное давление дымовых газов, если показание барометра $B = 102\,658$ Па (770 мм рт. ст.) при $t = 0^{\circ}\text{C}$.

Отв. $p = 101\,870$ Па (764,1 мм рт. ст.).

9. Тягомер показывает разрежение в газоходе, равное 412 Па (42 мм вод. ст.). Атмосферное давление по ртутному барометру $B = 100\,925$ Па (757 мм рт. ст.) при $t = 15^{\circ}\text{C}$.

Определить абсолютное давление дымовых газов.

Отв. $p = 100\,250$ Па (751,96 мм рт. ст.).

10. Для измерения уровня жидкости в сосуде иногда используется устройство, схема которого изображена на рис. 5.

Определить уровень бензина в баке, если $h = 220$ мм рт. ст., а его плотность $\rho = 840$ кг/м³.

Отв. $H = 3,56$ м.

Тема 4: Идеальные газы и основные газовые законы

11. Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются с 1200 до 250 °С.

Во сколько раз уменьшается их объем, если давление газов в начале и в конце газопроводов одинаково?

Отв. В 2,82 раза.

12. Во сколько раз объем определенной массы газа при – 20 °С меньше при +20 °С.

Отв. 1,6

13. Определить массу кислорода, содержащегося в баллоне емкостью 60 л, если давление кислорода по манометру равно 1,08 МПа, а показание ртутного барометра – 99 325 Па при температуре 25 °С.

Отв. $M = 0,91$ кг.

14. В сосуде находится воздух под разрежением 10 кПа при температуре 0 °С. Ртутный барометр показывает 99 725 Па при температуре ртути 20 °С.

Определить удельный объем воздуха при этих условиях.

Отв. $\nu = 0,86 \text{ м}^3/\text{кг}$

15. Какой объем будут занимать 11 кг воздуха при давлении $p = 0,44$ МПа и температуре $t = 18$ °С?

Отв. $V = 2,088 \text{ м}^3$

16. Найти массу 5 м³ кислорода и 5 м³ углекислоты при давлении 0,6 МПа и температуре 100 °С.

Отв. $M_{\text{O}_2} = 30,9$ кг, $M_{\text{CO}_2} = 42,6$ кг

17. В цилиндре диаметром 0,6 м содержится $0,41 \text{ м}^3$ воздуха при $p = 0,25 \text{ МПа}$ и $t_1 = 35^\circ\text{C}$.

До какой температуры должен нагреваться воздух при постоянном давлении, чтобы движущийся без трения поршень поднялся на 0,4 м?

Отв. $t_2 = 117,6^\circ\text{C}$.

18. Баллон с кислородом емкостью 20 л находится под давлением 10 МПа при 15°C . После израсходования части кислорода давление понизилось до 7,6 МПа, а температура упала до 10°C .

Определить массу израсходованного кислорода.

Отв. 0,606 кг

19. Резервуар объемом 4 м^3 заполнен углекислым газом. Найти массу и силу тяжести (вес) газа в резервуаре, если избыточное давление газа $p = 40 \text{ кПа}$, температура его $t = 80^\circ\text{C}$, а барометрическое давление воздуха $B = 102,4 \text{ кПа}$.

Отв. $M = 8,64 \text{ кг}$; $G = 84,8 \text{ Н}$.

20. Какой объем занимают 10 кмоль азота при нормальных условиях?

Отв. 224 м^3 .

Тема 5: Теплоемкость газов

21. Определить значение массовой теплоемкости кислорода при постоянном объеме и постоянном давлении, считая $c = \text{const}$.

Отв. $c_p = 0,916 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$; $c_v = 0,654 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

22. Вычислить значение истинной мольной теплоемкости кислорода при постоянном давлении для температуры 1000°C , считая зависимость

теплоемкости от температуры линейной. Найти относительную ошибку по сравнению с табличными данными.

$$\text{Отв. } \mu_{sp} = 36,55 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}; \varepsilon = 1,79 \text{ \%}.$$

23. Вычислить среднюю теплоемкость c_{pm} для воздуха при постоянном давлении в пределах $200 - 800^\circ\text{C}$, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

$$\text{Отв. } C_{pm}^{800}_{200} = 1,091 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

24. Вычислить среднюю теплоемкость c_{pm} и c'_{vm} в пределах $200 - 800^\circ\text{C}$ для CO , считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

$$\text{Отв. } c_{pm} = 1,1262 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; c'_{vm} = 1,0371 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

25. Найти среднюю теплоемкость c_{pm} и c'_{pm} углекислого газа в пределах $400 - 1000^\circ\text{C}$, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

$$\text{Отв. } c_{pm} = 1,2142 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; c'_{pm} = 2,3865 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

26. Определить среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме для азота в пределах $200 - 800^\circ\text{C}$, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

$$\text{Отв. } c_{vm} = 0,8164 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

27. Решить предыдущую задачу, если известно, что средняя мольная теплоемкость азота при постоянном давлении может быть определена по формуле

$$\mu_{pm} = 28,7300,0023488t.$$

$$\text{Отв. } c_{vm} = 0,8122 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

28. В закрытом сосуде объемом $V = 300$ л находится воздух при давлении $p_1 = 0,8$ МПа и температуре $t_1 = 20$ °С.

Какое количество теплоты необходимо подвести для того, чтобы температура воздуха поднялась до $t_2 = 120$ °С? Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, а также учитывая зависимость теплоемкости от температуры. Определить относительную ошибку, получаемую в первом случае.

Отв. $Q = 77,3$ кДж, $\alpha = 0,25\%$

29. Воздух охлаждается от 1000 до 100 °С в процессе с постоянным давлением.

Какое количество теплоты теряет 1 кг воздуха? Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, а также учитывая зависимость теплоемкости от температуры. Определить относительную ошибку, получаемую в первом случае.

Отв. 1) $q_{c p} = const = -911,9$ кДж/кг; 2) $q_{c p} = f(t) = -911,1$ кДж/кг; $\varepsilon \approx 8 \%$.

30. В регенеративном подогревателе газовой турбины воздух нагревается от 150 до 600 °С.

Найти количество теплоты, сообщенное воздуху в единицу времени, если расход его составляет 360 кг/ч. Зависимость теплоемкости от температуры принять нелинейной

Отв. $Q = 47,84$ кДж/с.

Тема 6: Первый закон термодинамики

31. Найти часовой расход топлива, который необходим для работы паровой турбины мощностью 25 МВт, если теплота сгорания топлива $Q_H^P =$

33,85 МДж/кг и известно, что на превращение тепловой энергии в механическую используется только 35% теплоты сожженного топлива.

Отв. 7,59 т/ч.

32. В котельной электрической станции за 20 ч работы сожжены 62 т каменного угля, имеющего теплоту сгорания 28 900 кДж/кг.

Определить среднюю мощность станции, если в электрическую энергию превращено 18% теплоты, полученной при сгорании угля.

33. Мощность турбогенератора 12 000 кВт, к. п. д. генератора 0,97. Какое количество воздуха нужно пропустить через генератор для его охлаждения, если конечная температура воздуха не должна превышать 55° С?

Температура в машинном отделении равна 20° С; среднюю теплоемкость воздуха c_{pm} принять равной 1,0 кДж/(кг·К).

Отв. 10,3 кг/с.

34. Метод проточного калориметрирования, описанный в предыдущей задаче, может быть также использован для определения количества газа или воздуха, протекающего через трубопровод.

Найти часовой расход воздуха M кг/ч, если мощность электронагревателя $N_{эл} = 0,8$ кВт, а приращение температур воздуха $t_2 - t_1 = 1,8^\circ\text{C}$. Определить также скорость воздуха c в трубопроводе за электронагревателем, если давление воздуха 120 кПа, температура его за электронагревателем 20,2 °С, а диаметр трубопровода 0,125 м.

Отв. $M = 1600$ кг/ч; $c = 25,4$ м/с.

35. При испытании двигателей внутреннего сгорания широким распространением пользуются так называемые гидротормоза. Работа

двигателя при торможении превращается в теплоту трения, и для уменьшения нагрева тормозного устройства принимают водяное охлаждение.

Определить часовой расход воды на охлаждение тормоза, если мощность двигателя $N = 33$ кВт, начальная температура воды $t'_B = 15^\circ\text{C}$, конечная $t''_B = 60^\circ\text{C}$; принять, что вся теплота трения передается охлаждающей воде.

Отв. $M_{\text{воды}} = 632$ кг/ч.

36. В котельной электростанции за 10 ч работы сожжено 100 т каменного угля теплотой сгорания $Q_H^P = 29300$ кДж/кг.

Найти количество выработанной электроэнергии и среднюю мощность станции, если к.п.д. процесса преобразования тепловой энергии в электрическую составляет 20 %.

Отв. 162 780 кВт·ч; $N_{\text{ср}} = 16\,278$ кВт.

37. В сосуд, содержащий 5 л воды при температуре 20°C , помещен электронагреватель мощностью 800 Вт.

Определить, сколько времени потребуется, чтобы вода нагревалась до температуры кипения 100°C . Потерями теплоты сосуда в окружающую среду пренебречь.

Отв. $\tau = 30$ мин.

38. В машине вследствие плохой смазки происходит нагревание 200 кг стали на 40°C в течение 20 мин.

Определить вызванную этим потерю мощности машины. Теплоемкость стали принять равной $0,46$ кДж/(кг·К).

Отв. 3,07 кВт.

39. Найти изменение внутренней энергии 2 м^3 воздуха, если температура его понижается от $t_1 = 250^\circ \text{ С}$ до $t_2 = 70^\circ \text{ С}$. Зависимость теплоемкости от температуры принять линейной. Начальное давление воздуха $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$.

Отв. $\Delta U = -1\,063 \text{ кДж}$.

40. К газу, заключенному в цилиндре с подвижным поршнем, подводится извне 100 кДж теплоты. Величина произведенной работы при этом составляет 115 кДж .

Определить изменение внутренней энергии газа, если количество его равно $0,8 \text{ кг}$.

Отв. $\Delta U = -18,2 \text{ кДж}$.

Тема 7: Основные газовые процессы

Изохорный процесс

41. Газ при давлении $p_1 = 1 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 20^\circ \text{ С}$ нагревается при постоянном объеме до $t_2 = 300^\circ \text{ С}$. Найти конечное давление газа.

Отв. $p_2 = 1,956 \text{ МПа}$

42. В закрытом сосуде заключен газ при давлении $p_1 = 2,8 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 120^\circ \text{ С}$.

Чему будет равно конечное давление p_2 , если температура снизится до $t_2 = 25^\circ \text{ С}$?

Отв. $p_2 = 2,12 \text{ МПа}$.

43. В закрытом сосуде находится газ при разрежении $p_1 = 2\,666 \text{ Па}$ и температуре $t_1 = 10^\circ \text{ С}$. Показание барометра – 100 кПа . После охлаждения газа разрежение стало равным 20 кПа .

Определить конечную температуру газа t_2 .

Отв. $t_2 = -40,4^\circ\text{C}$.

44. До какой температуры t_2 нужно нагреть газ при $v = \text{const}$, если начальное давление газа $p_1 = 0,2$ МПа и температура $t_1 = 20^\circ\text{C}$, а конечное давление $p_2 = 0,5$ МПа.

45. В закрытом сосуде емкостью $V = 0,5$ м³ содержится двуокись углерода при $p_1 = 0,6$ МПа и $t_1 = 527^\circ\text{C}$.

Как изменится давление газа, если от него отнять 420 кДж? Принять зависимость $c = f(t)$ линейной.

Отв. $p_2 = 0,42$ МПа.

Изобарный процесс

46. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м³ воздуха при постоянном избыточном давлении $p = 0,2$ МПа от $t_1 = 100^\circ\text{C}$ до $t_2 = 500^\circ\text{C}$?

Какую работу при этом совершит воздух?

Давление атмосферы принять равным 101 325 Па.

Отв. $Q_p = 2356$ кДж, $L = 646,3$ кДж

47. Определить количество теплоты, необходимое для нагревания 2000 м³ воздуха при постоянном давлении $p = 0,5$ МПа от $t_1 = 150^\circ\text{C}$ до $t_2 = 600^\circ\text{C}$. Зависимость теплоемкости от температуры считать нелинейной.

Отв. $Q_p = 3\,937$ МДж.

48. В установке воздушного отопления внешний воздух при $t_1 = -15^\circ\text{C}$ нагревается в калорифере при $p = \text{const}$ до 60°C . Какое количество теплоты

надо затратить для нагревания 1000 м^3 наружного воздуха? Теплоемкость воздуха считать постоянной.

Давление воздуха принять равным $101\,325 \text{ Па}$.

Отв. 103 МДж .

49. $0,2 \text{ м}^3$ воздуха с начальной температурой 18° С подогревают в цилиндре диаметром $0,5 \text{ м}$ при постоянном давлении $p = 0,2 \text{ МПа}$ до температуры 200° С .

Определить работу расширения, перемещение поршня и количество затраченной теплоты, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

Отв. $L = 25\,000 \text{ Дж}$; $h = 0,64 \text{ м}$; $Q = 88,3 \text{ кДж}$.

50. 2 м^3 воздуха с начальной температурой $t_1 = 15^0 \text{ С}$ расширяются при постоянном давлении до 3 м^3 вследствие сообщения газу 837 кДж теплоты.

Определить конечную температуру, давление газа в процессе и работу расширения.

Отв. $t_2 = 159^\circ \text{ С}$; $p = 0,24 \text{ МПа}$; $L = 239 \text{ кДж}$.

Изотермический процесс

51. Для осуществления изотермического сжатия $0,8 \text{ кг}$ воздуха при $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ и $t = 25^0 \text{ С}$ затрачена работа в 100 кДж .

Найти давление p_2 сжатого воздуха и количество теплоты, которое необходимо при этом отвести от газа?

Отв. $p_2 = 0,322 \text{ МПа}$; $Q = 90 \text{ кДж}$.

52. 8 м^3 воздуха при $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ и $t_1 = 20^0 \text{ С}$ сжимаются при постоянной температуре до $0,81 \text{ МПа}$.

Определить конечный объем, затраченную работу и количество теплоты, которое необходимо отвести от газа.

$$\text{Отв. } V_2 = 0,889 \text{ м}^3; L = Q = -1581 \text{ кДж.}$$

53. При изотермическом сжатии $0,3 \text{ м}^3$ воздуха с начальными параметрами $p_1 = 1 \text{ МПа}$ и $t_1 = 300^\circ \text{С}$ отводится 500 кДж теплоты.

Определить конечный объем V_2 и конечное давление p_2 .

$$\text{Отв. } V_2 = 0,057 \text{ м}^3; p_2 = 5,26 \text{ МПа.}$$

54. В воздушный двигатель подается $0,0139 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха при $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и $t_1 = 40^\circ \text{С}$.

Определить мощность, полученную при изотермическом расширении воздуха в машине, если $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$.

$$\text{Отв. } L = 11,188 \text{ кВт.}$$

55. Воздух при давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 27^\circ \text{С}$ сжимается в компрессоре до $p_2 = 3,5 \text{ МПа}$.

Определить величину работы L , затраченной на сжатие 100 кг воздуха, если воздух сжимается изотермически.

$$\text{Отв. } L = -30\,576 \text{ кДж.}$$

Адиабатный процесс

56. 1 кг воздуха при температуре $t_1 = 15^\circ \text{С}$ и начальном давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ адиабатно сжимается до $0,8 \text{ МПа}$.

Найти работу, конечный объем и конечную температуру.

$$\text{Отв. } t_2 = 248^\circ \text{С}; v_2 = 0,187 \text{ м}^3/\text{кг}; l = -167,2 \text{ кДж/кг.}$$

57. Воздух при давлении $p_1 = 0,45 \text{ МПа}$, расширяясь адиабатно до $0,12 \text{ МПа}$, охлаждается до $t_2 = -45^\circ \text{С}$.

Определить начальную температуру и работу, совершенную 1 кг воздуха.

Отв. $t_i = 61^\circ \text{C}$; $l = 75,3 \text{ кДж/кг}$.

58. 1 кг воздуха, занимающий объем $v_i = 0,0887 \text{ м}^3/\text{кг}$ при $p_i = 1 \text{ МПа}$, расширяется до 10-кратного объема.

Получить конечное давление и работу, совершенную воздухом, в изотермическом и адиабатном процессах.

Отв. 1) $T = \text{const}$; $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$; $l = 204 \text{ кДж/кг}$; 2) $dQ = 0$; $p_2 = 0,04 \text{ МПа}$; $l = 133,5 \text{ кДж/кг}$.

59. Воздух при температуре $t_i = 25^\circ \text{C}$ адиабатно охлаждается до $t_2 = -55^\circ \text{C}$; давление при этом падает до 0,1 МПа.

Определить начальное давление и работу расширения 1 кг воздуха.

Отв. $p_i = 0,3 \text{ МПа}$; $l = 57,4 \text{ кДж/кг}$.

60. В газовом двигателе смесь газа и воздуха адиабатно сжимается так, что к концу сжатия ее температура оказывается на 200°C ниже температуры самовоспламенения газа. В начале сжатия $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ и $t_1 = 70^\circ \text{C}$. Показатель адиабаты $k = 1,36$, $R = 314 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$, температура самовоспламенения равна 650°C .

Определить величину работы сжатия и степень сжатия $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$.

Отв. $l = -334,1 \text{ кДж}$, $\varepsilon = 7,92$

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Физические свойства жидкости и силы, действующие в жидкости.
2. Что называется гидростатическим давлением? Какими свойствами оно обладает? Доказать эти свойства.
3. Абсолютное и избыточное давление, вакуум - дать определение. Приборы для замера этих величин. Единицы измерения давления. Что называется пьезометрическим напором?
4. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для жидкостей, находящихся в покое.
5. Преобразование уравнений Эйлера для покоящейся жидкости в дифференциальное уравнение приведенного вида. Уравнение поверхности равного давления.
6. Исследование поверхности равного давления для трех случаев действия массовых сил на жидкость: только силы тяжести; силы тяжести и силы инерции; силы тяжести и центробежной силы.
7. Основные уравнения гидростатики, как частный случай приведенного уравнения Эйлера.
8. Сила давления жидкости на плоскую стенку, центр давления. Дать определение, вывести формулы для определения силы давления и координаты центра давления аналитическим способом.
9. Эпюры гидростатического давления на плоскую стенку. Вывод формулы для определения силы давления и центра давления. Силы давления на плоскую стенку графоаналитическим способом.
10. Определение силы давления и центра давления на криволинейную стенку. Вывести формулу силы давления для цилиндрической поверхности.
11. Записать формулы для определения силы давления и центра давления на плоскую стенку аналитическим способом. Формулы пояснить чертежом.
12. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Геометрический и энергетический смысл этого уравнения.
13. Основные понятия гидродинамики: R , ω , $i_{\text{гидр}}$, Q , $V_{\text{ср}}$. Вязкость жидкости и ее измерение.
14. Вывод основного уравнения равномерного движения $\tau = \gamma \cdot R \cdot i$.
15. Опыты Рейнольдса, режимы движения жидкости, критерий режима жидкости.
16. Закон внутреннего трения внутри жидкости при ламинарном режиме.
17. Вывод формулы распределения скоростей при ламинарном режиме (формула Стокса).
18. Вывод формулы для определения потерь напора на трение при ламинарном режиме (формула Пуазейля).
19. Основные положения и теории турбулентности (теория Прандтля).
20. Структура турбулентного потока и его особенности.

21. Распределение скоростей в трубах при турбулентном режиме.
22. Опыты Никурадзе и анализ графика Никурадзе по зависимости λ - коэффициента сопротивления трению от числа Re и шероховатости труб.
23. Формула Шези и области её применения. Связь коэффициента Шези «С» с λ - коэффициентом сопротивления трению.
24. Виды потерь напора при движении жидкости. Определения потерь напора на трение по длине пути и определение напора на преодоление местных сопротивлений.
25. Определение потерь напора при внезапном сужении и внезапном расширении. Начертить линию пьезометрических напоров и объяснить с энергетической позиции.
26. Истечение жидкости из гидравлически малых отверстий с гидравлически тонкой стенкой. Определение величины скорости и расхода при постоянном напоре.
27. Истечение жидкости из цилиндрического насадка. Определение скорости и расхода. Вывод формул.
28. Истечение жидкости из гидравлически больших отверстий. Определение расхода. Вывод формулы.
29. Истечение жидкости из гидравлически малого отверстия при переменном напоре, вывод формулы для определения времени понижения уровня с H_1 до H_2 ; и опорожнения резервуара
30. Гидравлический удар. Сущность явления, прямой и непрямой гидравлический удар. Определение повышения давления в трубопроводе при ГУ и способы борьбы с ним.
31. Гидротаран. Устройство и принцип действия.
32. Что такое термодинамическая система, термодинамический процесс?
33. Термические параметры состояния.
34. Уравнения состояния для идеальных газов.
35. Что такое работа, теплота. Понятие о внутренней энергии. Изображение работы и тепла в диаграммах P-V и T-S.
36. Математическое выражение первого закона термодинамики для идеальных реальных газов.
37. Теплоемкость. Различные виды теплоемкости и связь между ними.
38. Физическая сущность энтальпии.
39. Зависимость энтропии от основных термодинамических параметров.
40. Сущность второго закона термодинамики и основные его формулировки.
41. Цикл Карно, вывод формулы КПД цикла.
42. Изменение энтропии в необратимых процессах, физический смысл энтропии.
43. Дать определения: влажный, насыщенный, сухой насыщенный и перегретый пар.

44. Математическое выражения первого закона для потока.
45. Теоретическая индикаторная диаграмма одноступенчатого компрессора. Понятие о вредном пространстве.
46. Индикаторная диаграмма многоступенчатого компрессора.
47. Определение термической работы для одноступенчатого и многоступенчатого компрессора.
48. Назовите основные виды теплообмена.
49. Уравнение температурного поля, температурный градиент.
50. Дать определение теплопроводности, закон Фурье.
51. Закон Ньютона – Рихмана.
52. Что называется коэффициентом теплопроводности, от каких параметров он зависит.
53. Что называется теплопередачей. Вывод уравнения теплопередачи.
54. Определение коэффициента теплопередачи.
55. Определение коэффициента теплоотдачи при помощи критериального уровня. Определение критериального уровня. Виды общего критериального уровня.
56. Что называется коэффициентом поглощения, отражения и проницаемости.
57. Закон Стефана – Больцмана.
58. Типы теплообменных аппаратов.
59. Порядок расчета теплообменного аппарата.
60. Определение среднего температурного напора

Библиографический список

1. Гидравлика. Моргунов К.П. Учебник. – Изд. Лань. – 2014 – 288 с. [ЭБС Лань].
2. Механика жидкости и газа (гидравлика): Учебник / А.Д. Гиргидов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 704 с.: ил.; [ЭБС НИЦ ИНФРА-М,].
3. Петухов, Н.А. Краткий курс теплотехники / Новосиб.гос. аграр. ун-т; Инж.ин-т. - Новосибирск, 2007. - 231 с.
4. Круглов Г. А. Теплотехника: Учебное пособие. 2-е изд., стер./ Г. А.Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова — СПб.: Издательство «Лань», 2012.— 208с: ил.— (Учебники для вузов. Специальная литература) [ЭБС Лань].
5. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: учебник. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2015. — 656 с. [ЭБС Лань].
6. Кудинов В.А. Теплотехника: Учебное пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 424 с. [ЭБС ИНФРА-М].

Составитель: Христенко Александр Геннадьевич
Диденко Александр Александрович
Пшенов Евгений Александрович

ГИДРАВЛИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Задания и методические указания по выполнению самостоятельной и
контрольной работы

Компьютерный набор и верстка А.Г. Христенко

Формат 60×80 $\frac{1}{16}$. Тираж 50 экз.
Объем 1,0 уч. - изд. л.