

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой РЭТЭМ

_____ В.И.Туев

« ___ » _____ 2011г

Гидравлика

**Методические указания по практическим занятиям для студентов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавра 280700.62
«Техносферная безопасность» 280700.62 (18 часов)**

Разработчик:

к.т.н. Апкарьян А.С.

ТОМСК 2011

Содержание

1. Определение состава рабочего топлива.
2. Определение низшей теплоты сгорания каменного угля.
3. Определение низшей теплоты сгорания газа.
4. Определение количества воздуха, необходимое для сгорания природного газа.
5. Расчёт расхода топлива для котельной установки.
6. Определить конечный объём воздуха (V_2) при изменении избыточного давления.
7. Определение абсолютного давления P газа в цилиндре после его расширения.
8. Определение изменения плотности кислорода, если процесс протекал при $t = \text{const}$.
9. Определение плотности воздуха.
10. . Определение технического КПД цикла.
11. Определение изменения энтропии и конечной температуры кислорода.
12. Определение параметров всех узловых точек цикла ДВС, количество подведённой и отведённой теплоты, работу цикла и теоретический КПД цикла.
13. Определение количества тепла, проходящего в 1 час через 1 м^2 плоской стенки.
14. Определение суточной потери тепла с 1 м длины изолированного трубопровода.
15. Расчёт и выбор оборудования для калориферной установки и приточной системы вентиляции.

Введение

Изучение гидравлики студентами технических высших учебных заведений предусматривает проведение определённого количества практических занятий. В основном это решение задач по темам курса.

В данных методических указаниях даются общие разделы теории, ознакомление с которыми необходимо для правильного выбора пути решения задачи.

Методическое указание не ограничивается только лишь решением задачи, но и даёт возможность проведения анализа при изменении отдельных физико — технических параметров. В отдельных работах полученные результаты способствуют проведению аналитического описания процессов гидростатики и гидродинамики.

Указанные в задачах параметры соответствуют реальным характеристикам оборудования или технологического процесса.

1. Гидростатика

1. Основное уравнение гидростатики

В гидростатике рассматривается жидкость, находящаяся в относительном или абсолютном покое.

Относительным покой - состояние, при котором отдельные частицы жидкости, оставаясь в покое относительно друг друга, перемещаются вместе с сосудом, в котором жидкость заключена.

Абсолютный покой, или просто покой - состояние жидкости, при котором она неподвижна относительно земли и резервуара.

В гидростатике изучают законы равновесия жидкости, находящейся под действием внутренних и внешних сил, а также равновесия тел, погруженных в жидкость.

В любом рассматриваемом объёме, силы, действующие на данный элемент жидкости, подразделяют на массовые и поверхностные.

Массовые (объёмные) силы – это силы, приложенные непосредственно к частицам, заполняющей некоторый объём (силы тяжести).

Поверхностные силы – это силы, действующие лишь на поверхность выделенного объёма жидкости (давление твёрдого тела на обтекающую его жидкость, трение жидкости о поверхность тела и др.).

Для того чтобы определить давление в произвольной точке покоящейся жидкости, достаточно знать величину давления в какой либо другой точке, принадлежащей тому же объёму, а так же глубину погружения одной точки относительно другой.

Пусть в открытом сосуде находится однородная жидкость в состоянии покоя. На её поверхность, а следовательно и на точку 1, действует давление находящегося над жидкостью газа, которое обозначим p_0 . Если окружающий газ свободно сообщается с атмосферой, то внешнее давление равно атмосферному: $p_0 = p_{атм}$.

Абсолютное (полное) давление $p_{абс}$, действующее на точку внутри жидкости испытывает давление p_0 находящегося над жидкостью газа и давление оказываемое столбом жидкости, расположенным над ней:

$$p_{абс} = p_0 + \rho g(h_1 - h_2), \quad (1.1)$$

где ρ - плотность жидкости (кг/м^3),

g – ускорение свободного падения (м/с^2),

h_1 и h_2 – высоты, отсчитанные вверх от одной и той же условной горизонтальной плоскости (м).

В общем случае уравнение (1.1) может быть записано в виде

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (1.2)$$

где h высота столба жидкости над рассматриваемой точкой.

Это равенство называется основным уравнением гидростатики. Из этого уравнения следует, что в одном и том же объёме покоящейся однородной жидкости все частицы, расположенные в одной и той же горизонтальной плоскости, находятся под одним и тем же гидростатическим давлением.

2. Расчёт давления жидкости на стенку

Плоская стенка

При расчёта плотин, водохранилищ и крупных резервуаров необходимо знать суммарное давление жидкости на ограничивающие её поверхности. Зная закон распределения гидростатического давления в жидкости, можно найти суммарное давление на стенки и дно резервуара.

Сила R определяется как равнодействующая системы параллельных сил, направленных в одну сторону. Силы на плоскую стенку, обусловленные гидростатическим давлением, представляют собой систему параллельных сил, равномерно возрастающих с увеличением высоты столба жидкости от нуля до максимального давления $p_{макс}$

$$p_{макс} = p_0 + \rho gh, \quad (2.1)$$

где h – высота жидкости в сосуде.

Избыточное давление в центре тяжести площади равно

$$p_{ц.т} = \rho g h_{ц.т}, \quad (2.2)$$

Рис. 2.1. Давление жидкости на плоскую стенку

Значение полной силы R жидкости на плоскую стенку равно произведению площади смоченной поверхности стенки на гидростатическое давление в её центре тяжести

$$R = p_{ц.т} A, \text{ или } R = (\rho g h_{ц.т} + p_0) A \quad (2.3.)$$

Формула (2.3.) выведенная для частного случая вертикальной прямоугольной плоской стенки, оказывается справедливой и для более общего случая наклонной плоскости с произвольными очертаниями.

Точку приложения равнодействующей силы называют центром давления. Центр давления лежит обычно ниже центра тяжести площади стенки. При горизонтальной стенке (дно резервуара) они совпадают. Центр давления прямоугольной не горизонтальной стенки находится на расстоянии $h/3$ от основания.

Криволинейная стенка. В случае с криволинейной стенкой, силы гидростатического давления, действующие на различные элементы её поверхности, имеют разные направления. Поэтому невозможно заранее указать направление их равнодействующей R , обусловленной давлением жидкости на кривую стенку.

Рис. 2.2. Давление жидкости на криволинейную стенку

Выберем систему координат (рис. 2.2.) таким образом, чтобы ось z была направлена вертикально, а ось y – вдоль образующей цилиндрической поверхности стенки.

Так как силы действуют по нормали к стенке, а ось y параллельна стенке, то составляющая R_y равна нулю. Таким образом, для определения полной силы R

достаточно определить её проекции R_x и R_z на оси x и z и сложить полученные составляющие по правилу параллелограмма.

Вычислим составляющую R_x силы R . Значение R_x можно получить, суммируя все составляющие dR_x элементарных сил dR , обусловленных давлением, действующих на соответствующие площадки dA . Согласно рис. 2.2, имеем

$$dR_x = \cos\alpha dR, \quad (2.4.)$$

где α – угол между x и нормалью к площади dA .

Так как $dR = pdA$, то

$$dR_x = \cos\alpha pdA = p(\cos\alpha dA) = pdA_{yz}, \quad (2.5.)$$

Здесь dA_{yz} – элемент плоской поверхности A_{yz} , перпендикулярной к оси x .

Произведение $\cos\alpha dA$ равно площади проекции площадки dA на плоскость A_{yz} и, таким образом dA_{yz} представляет собой элемент поверхности A_{yz} .

Суммируя все силы dR_x получим

$$R_x = \int dR_x = \int pdA_{yz}. \quad (2.6.)$$

При этом в последнем интеграле интегрирование проводится по всей проекции A_{yz} , рассматриваемой криволинейной стенки. Поэтому интеграл $\int pdA_{yz}$ равен суммарной силе, обусловленной давлением жидкости, на плоскую поверхность A_{yz} , которую на неё оказывал бы тот же столб жидкости.

Таким образом, составляющая по оси x этой силы, действующей на криволинейную стенку, равна силе, обусловленной таким же столбом жидкости на проекцию этой стенки на плоскость, нормальную к оси x .

Формула (1.1.) для данного случая имеет вид

$$R_x = \rho gh_{u,m} A_{yz}, \quad (2.7.)$$

где $h_{u,m}$ – расстояние центра тяжести проекции A_{yz} от свободной поверхности жидкости.

Вертикальная составляющая R_z , полной силы R , равна равнодействующей сил тяжести, действующей на все элементы объёма жидкости, находящейся над рассматриваемой криволинейной стенкой. Поэтому R_z равна весу жидкости в объёме V , расположенном над стенкой:

$$R_z = \rho gV. \quad (2.8.)$$

На рис. 2.2 этот объём V ограничен поверхностью рассматриваемой цилиндрической стенки, свободной поверхностью жидкости, а также вертикальными плоскостями I и II, отсекающими от стенки рассматриваемый участок поверхности.

Таким образом, найдены составляющие R_x и R_z полной силы R , обусловленную давлением жидкости на криволинейную стенку, которую графически можно получить, складывая эти составляющие. Аналитически модуль R можно определить по теореме Пифагора:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (2.9.)$$

Направление силы R можно определить задавая угол φ между осью x и силой R .

$$\operatorname{tg} \varphi = R_z/R_x$$

Следует отметить, что точку приложения равнодействующей R элементарными приёмами можно найти только в некоторых частных случаях.

Стенки цилиндрических сосудов и труб. Тонкостенные цилиндрические сосуды, заполненные жидкостью под давлением, широко распространены в технике. К ним относятся трубы, котлы, корпуса аппаратов и т.п.

На рис 2.3 показана половина цилиндра, внутренний диаметр которого обозначим через D , длину цилиндра через l и толщину стенки через δ .

Выделим на внутренней поверхности цилиндра элементарную площадку $abcd$ с площадью dA . Нормаль nn к этой площадке, проходящая через её середину (через её центр тяжести), составляет угол α с плоскостью uOz системы координат $хуz$.

По нормали nn на элементарную площадку dA действует элементарная сила dP давления жидкости, причём $dP_n = pdA$.

Спроектируем силу dP_n на вертикальную плоскость uOz и обозначим её проекцию dP_z :

$$dP_z = dP_n \cos \alpha = p dA \cos \alpha.$$

Определив P_z как сумму проекций соответствующих элементарных сил на плоскость yOz , пренебрегая неравномерностью распределения давления жидкости по поверхности цилиндра (по высоте z):

$$P = \int p \cos \alpha dA = p \int \cos \alpha dA.$$

Заметим, что $\cos \alpha dA$, равная площадке $a'b'c'd'$, есть проекция элементарной площадки $abcd$ на горизонтальную плоскость xOy . Поэтому $\int \cos \alpha dA$ является проекцией всей боковой поверхности полуцилиндра на ту же плоскость xOy . Площадь этой проекции равна Dl и

$$P_z = pDl$$

Рис.2.3. Давление жидкости на стенки труб

Отметим, что суммарная сила P_z стремится разорвать цилиндр по диаметральному сечению, лежащему в плоскости yOz , или, что тоже самое, оторвать верхний полуцилиндр от нижнего. Такой разрыв может произойти по двум площадкам диаметрального сечения цилиндра. Площадь каждой из этих площадок равна произведению толщины стенки δ на длину образующей цилиндра l .

Напряжения растяжения на этих площадках составят

$$\sigma = P_z / (2\delta) = pDl / (2\delta). \quad (2.10)$$

По условиям прочности напряжения растяжения не должны превышать допускаемых напряжений $[\sigma]$ или

$$\sigma = pD / (2\delta) \leq [\sigma]_p \quad (2.11)$$

По этой формуле можно определить фактические напряжения растяжения σ в стенке сосуда и, сравнивая их с допускаемыми $[\sigma]_p$, проверять прочность стенок цилиндрических сосудов, труб и пр.

В ряде случаев бывает необходимо определить толщину стенки δ для цилиндрического сосуда или трубы при заданном её диаметре D , давлении p и допускаемом напряжении $[\sigma]_p$. Для этого формулу (2.11) решают относительно δ и записывают в виде

$$\sigma \geq pD / (2[\sigma]_p) \quad (2.12)$$

Рассмотрим также напряжения, возникающие в стенках цилиндрического сосуда или трубы под воздействием осевого усилия P_y , направленного вдоль оси y . Осевое усилие P_y в этом случае определится как произведение давления p внутри сосуда на площадь проекции его крышки или днища на плоскость, нормальную оси сосуда,

$$P_y = p(\pi D^2 / 4)$$

Поперечное сечение стенок цилиндрического сосуда, лежащего в плоскости, нормальной к оси цилиндра, имеет форму кольца, площадь которого A' приближённо составит

$$A' \approx \pi D \delta$$

Под действием осевой силы P_y , разрыв цилиндра может произойти по указанному кольцевому поперечному сечению A' . Условия прочности сосуда по кольцевому поперечному сечению запишем в виде условия, что фактические напряжения растяжения в этом сечении также не превышают допустимого $[\sigma]_p$. Т.е.

$$\sigma' = P_y / A' = \frac{p(\pi D^2/4)}{\pi D \delta} = \pi D / 4 \delta < [\sigma]_p, \quad (2.13)$$

Формула (2.11) позволяет определить фактические растягивающие напряжения σ , возникающие в стенке сосуда в сечении, плоскость которого совпадает с образующей цилиндра (т.е. по его диаметральному, продольному сечению). Формула (2.13) позволяет определять фактические растягивающие напряжения σ' , возникающие в поперечном т.е. нормальном к оси цилиндра, кольцевом сечении.

Сравнение формул (2.11) и (2.13) показывает, что растягивающие напряжения σ в продольном сечении цилиндра в два раза превышают напряжения σ' , возникающие в поперечном кольцевом сечении. Таким образом, более опасным является разрыв цилиндрического сосуда по образующей и расчёт прочности по напряжениям растяжения σ , и определение толщины стенки необходимо вести по формулам (2.11) и (1.12).

3. Закон Архимеда

Рассмотрим произвольное тело объёмом V , погружённое в жидкость, и найдём силу, действующую на него со стороны жидкости (рис.3.1). Как уже было сказано, такая сила есть, равнодействующая всех сил, обусловленных давлением, действующих на элементы поверхности тела. Однако теперь сумма горизонтальных составляющих сил, действующих на элементы поверхности тела, равна нулю (иначе покоящееся тело пришло бы в самопроизвольное движение по горизонтали). Поэтому полная сила R , обусловленная давлением жидкости на тело, направлена вертикально, а следовательно, вектор R совпадает со своей вертикальной составляющей.

Чтобы найти R проведём касательно к телу цилиндрическую поверхность $ABCD A'B'C'D'$ с вертикальной образующей. Другими словами, спроектируем тело на свободную поверхность жидкости ($A'B'C'D'$ – проекция тела). Проектирующая цилиндрическая поверхность линией касания $ABCD$ разделит поверхность тела на две части.

Определим отдельно силу R_1 , направленную вниз и действующую на верхнюю поверхность AEC тела, и силу R_2 , направленную вверх и действующую на нижнюю поверхность AFC тела. По своей сути, R_1 равна равнодействующей сил тяжести, действующих на все элементы объёма жидкости, находящейся непосредственно над верхней поверхностью тела. Поэтому модуль силы R_1 равен весу этой жидкости, т.е. жидкости, заполняющей фигуру $ABCDEA'B'C'D'E'$. Обозначив через V_1 объём этой фигуры, имеем

$$R_1 = \rho g V_1 \quad (3.1)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 , ρ – плотность рассматриваемой жидкости, $кг/м^3$.

Чтобы найти R_2 представим, что вся внутренняя часть рассматриваемого тела удалена и сохранена лишь бесконечно тонкая оболочка – нижняя поверхность $ABCDF$ тела. Заполним всю внутреннюю часть тела жидкостью. На оболочку $ABCDF$ теперь действует сверху вниз сила R_2 , при этом $R_2 = \rho g (V + V_1)$, т.к. $V + V_1$ – объём жидкости непосредственно над оболочкой (т.е. $V + V_1$ – объём фигуры $ABCDF A'B'C'D'F'$).

Рис.2.11. К рассмотрению закона Архимеда

По основному закону гидростатики давление зависит только от глубины расположения точек поверхности $ABCD$. Следовательно, интересующая нас сила R_2 , действующая на $ABCD$ снаружи, по модулю равна силе R_1 , но направлена в противоположенную сторону, т.е. вверх. Итак,

$$R_2 = \rho g (V + V_1), \quad (3.2)$$

Очевидно, что всегда $(V + V_1) > V_1$ и согласно равенствам (3.1) и (3.2) $R_2 > R_1$. Таким образом, полная сила R , обусловленная давлением на поверхность погружённого тела, всегда направлена вверх, и равна её модулю $R = R_2 - R_1$, т.е.

$$R = \rho g V. \quad (3.3)$$

Произведение $\rho g V$ равно весу жидкости, вытесненной телом. Равенство (3.3) остаётся также справедливым и для тела, лишь частично погружённого в жидкость.

Формула (3.3) выражает закон Архимеда:

На тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, которая направлена вертикально вверх, и модуль которой равен весу вытесненной телом жидкости.

Выталкивающая сила R является равнодействующей элементарных выталкивающих сил и поэтому приложена в центре тяжести вытесненного объёма жидкости, который называют центром водоизмещения.

Плаучесть тела. Плаучестью называют способность тела плавать в жидкости в погружённом или частично погружённом состоянии.

Закон Архимеда является фундаментом теории плавания. Действительно, плавает тело массой m или тонет зависит от разности действующих на него сил: силы тяжести mg и архимедовой силы R . Так, при $mg > R$ - тело тонет; при $mg < R$ - тело всплывает и находится в частично погружённом состоянии; при $mg = R$ - тело плавает в погруженном состоянии на произвольной глубине (такое состояние называют взвешенным).

Обозначив плотность тела через ρ_m , можно написать

$$mg = \rho_m V g$$

Используя это равенство и закон Архимеда (3.3), нетрудно показать, что условие плавания $mg < R$ эквивалентно условию

$$\rho_m < \rho, \quad (3.4)$$

где ρ – плотность рассматриваемой жидкости.

Таким образом, при выполнении условия (3.4) тело плавает и, наоборот, тело тонет при

$$\rho_m > \rho \quad (3.5)$$

Если полностью погрузить тело, для которого выполнено условие плавания (3.4), то выталкивающая сила R будет больше mg и под действием разности этих сил тело всплывает. По мере всплывания объём вытесненной жидкости уменьшается. При этом уменьшается и архимедова сила. Это будет происходить до тех пор, пока архимедова сила R не станет равной силе тяжести mg . Таким образом, установится определённая

глубина погружения, при которой частично погруженное плавающее тело будет находиться в равновесии. При этом соблюдается ранее упомянутое условие

$$mg = R. \quad (3.5)$$

Как известно из механики, для равновесия тела помимо условия компенсации действующих на тело сил (3.5) нужно, чтобы и моменты этих сил также компенсировались. Для простейшего случая плавания полностью погружённого тела, это второе условие приводит к требованию, чтобы центр водоизмещения и центр тяжести тела лежали на одной вертикали. Равновесие погружённого тела будет устойчивым, если центр тяжести тела лежит ниже центра водоизмещения. Будучи выведенным, из положения равновесия, тело стремится вернуться в исходное положение. В том случае, когда центр тяжести тела лежит выше центра водоизмещения, положение погружённого тела неустойчиво и, будучи выведенным, из такого положения равновесия, оно стремится перейти к другому (устойчивому) положению. При совпадении центров тяжести и водоизмещения тело находится в состоянии безразличного равновесия.

Задача 1

Объём - 2 часа

Цель – Решение задач по гидростатике.

Условие задачи.

Плотина системы Шаунана представляет собой наклонный щит, который может поворачиваться вокруг шарнирной оси О (рис.1.). Найти положение шарнира x_0 , при котором подъём верхнего уровня воды выше $H = 2$ м. вызвал бы автоматическое опрокидывание щита. Уровень воды по правую сторону от щита $h = 0,4$ м, а угол

$\alpha = 60$ град.С

Задача 2.

Объём - 2 час

Цель – Решение задач по гидростатике..

Условие задачи.

Определить силу R , необходимую для подъёма клапана, изготовленного из стали в виде конуса высотой $h = 0,1$ м. и диаметром основания $D = 2h$. Конус закрывает отверстие диаметром $d = h$ в дне бака, заполненного водой. Уровень воды в баке $H = 5h$ (рис. 2.).

Плотность стали $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³

Задача 3.

Объём -1 час.

Цель – обучение подсчёту теплоты сгорания твёрдого топлива.

Условие задачи.

Определить низшую теплоту сгорания каменного угля следующего состава:

$C^P = 80\%$; $H^P = 6,0\%$; $O^P = 3,0\%$; $S^P = 1,0\%$; $A^P = 6,0\%$; $W^P = 4,0\%$

Задача 4

Объём -1 час.

Цель – обучение подсчёту теплоты сгорания газообразного топлива.

Условие задачи.

Определить низшую теплоту сгорания газа, содержащего 20% CO_2 ; 6,0% CO ; 60% H_2 ; 23% CH_4 ; 9,0% N_2

Задача 5.

Объём -1 час.

Цель – определение количества воздуха для сгорания природного газа и объём продуктов сгорания.

Определить количество воздуха, необходимое для сгорания природного газа с

$Q_n^P = 35600$ кДж/ м³ (8510 ккал/м³) и объём продуктов горения при коэффициенте избытка воздуха – $n = 1,05$

Задача 6.

Объём - 2 часа

В топке котла сжигается уголь; $C^p, H^p, S^p, N^p, O^p, A^p, W^p$.

Коэффициент избытка воздуха за котлоагрегатом $\alpha_{ух}$. Температура уходящих газов на выходе из последнего газохода $t_{ух.г}$. Температура воздуха в котельной t_k . Объёмные теплоёмкости воздуха $c'_{рв}=1,297$ кДж/(м³К), уходящих газов $c'_{рух}=1,415$ кДж/(м³К)

Температура питательной воды $t_{пв} = 150^\circ\text{C}$. Величина непрерывной продувки $P=4\%$. Потери тепла от механической неполноты сгорания $q_{пв}= 4\%/$

Составить тепловой баланс и определить КПД котельной установки на 1 кг. топлива. Рассчитать расход угля котельной установкой для производства G т/ч. перегретого пара с параметрами $P_{пп}, t_{пп}$.

Исходные данные в табл.1.

Таблица 1

№ вар.	Состав топлива							$\alpha_{ух}$	$t_{ух.г}$ °C	t_k °C	$P_{пп}$ Мпа	$t_{пп}$ °C	G т/ч.
	C^p	H^p	S^p	N^p	$O^p,$	A^p	$W^p.$						
1	63,8	1,2	1,7	0,6	1,3	22,9	8,5	1,5	170	20	1,4	280	10
2	52,4	2,6	2,1	1,0	2,1	30,2	9,6	1,3	150	22	1,2	250	10
3	70,1	1,5	1,8	0,3	1,2	10,1	15,0	1,2	120	23	1,3	300	15
4	65,4	1,7	1,9	0,2	1,3	21,1	8,4	1,0	130	24	1,4	320	15
5	58,3	1,8	1,5	1,0	1,4	32,0	4,0	1,1	160	25	1,2	340	10
6	52,8	1,1	1,4	1,1	1,5	33,1	9,0	1,3	120	26	1,0	350	5
7	71,2	1,4	1,3	1,2	1,6	10,4	12,9	1,2	180	27	1,0	300	10
8	80,0	1,3	1,1	0,2	1,7	11,5	4,2	1,5	200	28	1,1	280	20
9	49,8	2,0	1,0	1,8	1,8	28,3	17,0	1,8	210	29	1,2	270	10
10	56,1	2,1	2,0	0,8	1,9	31,0	6,1	2,0	180	30	1,3	250	15
11	68,0	2,2	2,1	1,1	2,0	20,5	4,1	0,9	170	25	1,4	250	20
12	79,1	2,3	2,2	1,4	2,1	10,1	2,8	1,1	180	20	1,4	270	5
13	72,4	2,4	2,3	1,6	2,2	10,4	8,7	1,0	120	22	1,4	280	4
14	53,2	2,5	2,4	1,8	2,3	20,8	7,0	1,1	170	24	1,0	300	8
15	58,1	2,6	2,5	1,5	2,4	30,6	2,3	1,2	130	26	1,0	250	10
16	55,6	2,7	2,6	2,0	2,5	28,5	6,1	1,5	140	27	1,0	300	15
17	62,8	2,8	2,7	2,1	2,6	10,4	16,6	1,7	150	20	1,2	300	10
18	64,9	3,0	2,8	1,8	2,7	20,8	4,0	1,6	120	30	1,3	280	15
19	59,1	3,1	3,0	1,7	2,8	21,7	8,6	1,9	130	25	1,6	280	20
20	68,3	3,2	3,2	1,6	2,9	12,8	8,0	1,8	140	26	1,2	280	8
21	65,6	3,4	3,5	0,2	1,0	19,7	6,6	2,0	150	27	1,4	270	10

2. Тема – техническая термодинамика.

При решении задач 6,7,8,9 необходимо взять за основу уравнения состояния идеального газа.

Закон Бойля-Мариотта $PV = \text{const}$,

Закон Гей-Люссака $V_1/ V_2 = T_1/ T_1$

Закон Шарля $P_1/ P_2 = T_1/ T_2$

Используя законы Гей-Люссака и Бойля-Мариотта, получаем уравнение состояния идеального газа или уравнение Менделеева – Клайперона.

$$PV = RT,$$

где R – удельная газовая постоянная.

Задача 6

Объём -1 час

В цилиндре под поршнем находится M кг. воздуха, занимающего объём $V_1 = 0,1 \text{ м}^3$, при избыточном давлении $P'_{\text{изб}} = 49,035 \text{ кПа}$. К поршню приложена сила, сжимающая воздух до избыточного давления $P''_{\text{изб}} = 0,588 \text{ МПа}$ при $t = \text{const}$. Определить конечный объём V_2 .

Задача 7

Объём -1 час

Газ находится в цилиндре под избыточным давлением $P'_{\text{изб}} = 98,07 \text{ кПа}$; барометрическое давление равно $73,327 \text{ кПа}$. При изотермическом расширении газ увеличил свой объём в 3 раза. Определить абсолютное давление P газа в цилиндре после его расширения.

Задача 8

Объём -1 час

Избыточное давление кислорода, находящегося в баллоне снизилось с $10,2$ до $1,96 \text{ Мпа}$. Определить во сколько раз изменилось плотность кислорода, если процесс протекал при $t = \text{const}$.

Задача 9

Объём -1 час

Определить плотность воздуха при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении $77,42 \text{ кПа}$, если при стандартных условиях плотность воздуха $\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$

Задача 10

Объём -1 час

В произвольном цикле телу сообщено 2500 Дж теплоты и при этом получена полезная работа в количестве 780 Дж . Определить технический КПД цикла.

Задача 11

Объём -1 час

Найти массу изменения энтропии и конечную температуру кислорода, содержащегося в сосуде ёмкостью V_1 , при абсолютном давлении P_1 и температуре t_1 . Определить также количество теплоты, которое нужно подвести, чтобы повысить давление (при $V = \text{const}$) до P_2 . Удельная теплоёмкость зависит от температуры (определяется по справочникам).

Таблица 5.

№ варианта.	V_1 (л)	P_1 (кПа)	P_2 (кПа)	t_1 ($^\circ\text{C}$)	№ варианта	V_1 (л)	P_1 (кПа)	P_2 (кПа)	t_1 ($^\circ\text{C}$)
1	50	300	1000	32	11	400	980	3800	24
2	64	360	1200	44	12	520	1100	5300	31
3	200	420	1800	45	13	70	180	1800	43
4	180	700	2500	47	14	200	340	2300	52
5	300	900	3000	43	15	130	250	1700	45
6	340	920	4050	36	16	120	400	1500	34
7	80	300	900	34	17	80	400	1700	47
8	190	450	2500	51	18	60	300	1620	49
9	240	370	2400	18	19	360	1100	3420	39
10	600	1200	4200	36	20	410	1200	4300	42

Задача 12

Объём -1 час

Для двигателей внутреннего сгорания с изохорно – изобарным подводом теплоты определить параметры всех узловых точек цикла, количество подведённой и отведённой теплоты, работу цикла и теоретический КПД цикла. Начальное давление и температура а также величины ϵ – степень сжатия, ρ – степень изобарного расширения, λ – степень увеличения давления на участке подвода теплоты, n_1 и n_2 –показатели политропы заданы. Рабочее тело воздух, масса 1 кг , теплоёмкость рабочего тела принять постоянной. Исходные данные в таблице 3.

Таблица 3.

№ Вар.	n_1	n_2	ε	λ	δ	P_1	t_1
1	1,4	1,20	1,4	1,7	10	85	17
2	1,38	1,20	1,5	1,6	10	98	37
3	1,36	1,20	1,6	1,5	11	95	27
4	1,34	1,20	1,7	1,4	11,5	90	22
5	1,32	1,20	1,8	1,3	12,0	80	32
6	1,30	1,20	1,4	1,7	10,0	82	32
7	1,40	1,22	1,5	1,6	10,0	86	32
8	1,38	1,22	1,6	1,5	11,0	80	17
9	1,36	1,22	1,7	1,4	11,5	95	22
10	1,34	1,22	1,8	1,3	12,0	98	27
11	1,32	1,22	1,4	1,7	10,0	96	27
12	1,30	1,22	1,5	1,6	10,5	94	32
13	1,40	1,24	1,6	1,5	11,0	92	32
14	1,38	1,24	1,7	1,4	11,5	85	22
15	1,36	1,24	1,8	1,3	12,0	88	37
16	1,34	1,24	1,4	1,7	10,0	90	17
17	1,32	1,24	1,5	1,6	10,5	86	37
18	1,30	1,24	1,6	1,5	11,0	95	22
19	1,40	1,26	1,7	1,4	11,5	78	15
20	1,38	1,26	1,8	1,3	12,0	80	25

Задача 13

Объём -1 час

Определить количества тепла, проходящего в 1 час через 1 м^2 плоской стенки толщиной $S = 345 \text{ мм}$, выложенной из шамотного кирпича. Температура внутренней поверхности стенки $t_1 = 1250 \text{ °C}$, наружной $t_2 = 150 \text{ °C}$

Задача 14

Объём -2 час

Стальная труба теплоснабжения покрыта слоем теплоизоляции с теплопроводностью $\lambda_{\text{из}}$ и толщиной $\delta_{\text{из}}$. Найти суточную потерю теплоты с 1 м длины изолированного трубопровода и определить, во сколько раз при наличии изоляции потеря теплоты меньше, чем при неизолированном трубопроводе. Определить температуру наружной поверхности теплоизоляции. При расчёте принять следующие исходные данные: коэффициент теплопроводности стали $\lambda_{\text{ст}}=50 \text{ Вт/(мК)}$, коэффициенты теплоотдачи от горячей воды к стенке $\alpha_1=200 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ и от стенки к окружающей среде $\alpha_2=10 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$. Диаметры трубопровода $d_{1\text{тр}}$ и $d_{2\text{тр}}$, температуру горячей воды $t_{\text{г.в.}}$, температуру окружающей среды $t_{\text{ср}}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{из}}$ и толщину $\delta_{\text{из}}$ принять из таблицы 4.

Таблица 4.

№ вар.	$\lambda_{\text{из}}$	$\delta_{\text{из}}$	$t_{\text{ср}}$	$t_{\text{г.в.}}$	$d_{1\text{тр}}$	$d_{2\text{тр}}$
1	0,07	60	10	100	60	64
2	0,06	70	19	110	80	85
3	0,05	80	20	120	85	90
4	0,04	50	25	130	75	80
5	0,08	70	17	140	57	60
6	0,07	80	12	150	42	50
7	0,05	20	10	90	86	92
8	0,003	10	24	70	88	94
9	0,035	50	15	110	100	110

10	0,028	40	13	120	102	112
11	0,056	50	14	130	130	132
12	0,066	70	12	140	148	160
13	0,075	57	10	150	180	200
14	0,024	60	18	90	203	223
15	0,013	40	20	100	225	241
16	0,01	30	21	110	250	260
17	0,018	50	10	120	255	272
18	0,012	30	5	140	300	230
19	0,038	40	8	150	250	260
20	0,052	39	6	130	250	258

Задача 15

Объём -1 час

Рассчитать и выбрать оборудование для калориферной установки, приточной системы вентиляции. Производительность вентилятора G , м³/сек, температура наружного воздуха $t_n = -50^\circ\text{C}$ ниже нуля, температура воздуха после калориферов $t_k = 16^\circ\text{C}$. Параметры теплоносителя – горячая вода на входе $t'_в = 95^\circ\text{C}$, на выходе $t''_в$ – расчётная. Производительность вентилятора принимать из табл.2.

Таблица 2.

№вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$G, \text{м}^3/\text{сек}$	100	120	150	200	250	300	320	140	80	60

Продолжение табл.3

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
90	220	230	240	210	260	270	280	290	310	130

Контрольные вопросы

1. Виды и классификация топлива
2. Химический состав твёрдого, жидкого и газообразного топлива.
3. Тепловые эффекты реакции горения
4. Горение жидкого топлива
5. Горение твёрдого топлива
6. Горение газообразного топлива
7. Что такое детонация?
8. Что такое рабочее тело и параметры его состояния?
9. Выведите уравнение идеального газа?
10. Выведите уравнение реального газа?
11. Что такое смесь?
12. Как определить теплоёмкость газа и газовой смеси ?
13. Сущность первого закона термодинамики?
14. Что такое энтальпия и энтропия?
15. Условия, необходимые для обеспечения обратного процесса.
16. Основные условия для получения цикла Карно
17. Изобразите термодинамические процессы на P-V и H-S диаграммах.
18. Сущность второго закона термодинамики.
19. Какую закономерность раскрывает цикл Карно?
20. Изобразите процесс парообразования на H-S диаграмме.

21. Изобразите принципиальную схему паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, и отобразите цикл её работы в координатах P-V и H-S.
22. Перечислите способы повышения экономичности паросилового цикла.
23. Что такое ДВС?
24. Что такое индикаторное давление и индикаторная мощность? Как определить индикаторную мощность, индикаторный к.п.д. и эффективный к.п.д.?
25. Что такое конвекция и конвективный теплообмен? Как определить коэффициент теплоотдачи?
26. Что такое теплопередача? Способы передачи теплоты. Что такое температурное поле, температурный градиент и тепловой поток?
27. Напишите закон Фурье. Уравнение теплопроводности однослойной и многослойной стенки. Уравнение теплопроводности для цилиндрической стенки.
28. Что такое ламинарное и турбулентное движение? Что такое свободное и вынужденное движение?
29. Факторы, вызывающие теплообмен излучением. Как определить поток излучения? Закон Кирхгофа. Закон Стефана –Больцмана. Как определить степень черноты?
30. Как определить теплосодержание пара?
31. Как определить работу пара в адиабатном процессе на диаграммах?
32. Как определить термический К,П,Д, цикла Ренкина и чему он равен?
33. Чем отличается цикл Карно от цикла Ренкина?
34. Каковы преимущества противоточного движения теплоносителей перед прямоточной
35. Основные положения Инструкции по охране труда и технике безопасности при работе на тепловых агрегатах.
36. Каковы условия допуска к работе. Характеристика опасных и вредных производственных факторов.
37. Правила хранения горючих веществ и материалов.
38. Характеристика опасных и вредных производственных факторов.
39. Основные положения Инструкции по пожарной безопасности на участках оснащённых тепловыми агрегатами.
40. Средства пожаротушения. Требования по обеспечению пожаро - и взрывобезопасности.
41. Обязанности сотрудников перед началом работы. Обязанности сотрудников во время работы. Обязанности сотрудников по окончании работы
42. Порядок совместных действий сотрудников и подразделений пожарной охраны при пожаре.

Контрольные вопросы

1. Какие условия необходимо соблюдать ,чтобы термодинамический процесс был обратим? Что является причиной необратимости реальных термодинамических процессов.
2. Почему внутреннюю энергию, энтальпию и энтропию рабочего тела называют параметрами или функциями состояния, а теплоту и работу – функциями процесса.
3. Почему в диапазоне температур T_{\max} и T_{\min} не существует термодинамический цикл с термическим к.п.д. большим , чем у цикла Карно?
4. В чём сущность второго закона термодинамики?
5. В чём разница математической записи второго закона термодинамики для обратимого и необратимого процессов.

6. Покажите, что изохорный, изотермический и адиабатный процессы являются частными случаями политропного процесса.
7. Как будет меняться энтропия каждого из тел в изолированной системе, состоящей из источника, теплоприёмника и тепловой машины, которая работает по циклу Карно, если все процессы в системе обратимы?
8. Приведите определения следующих процессов и понятий: парообразование, конденсация, испарение, кипение, насыщенный пар, влажный и сухой насыщенный пар, перегретый пар.
9. Изобразите на диаграмме $P-V$ и $I-S$ изохорные и изотермические процессы превращения влажного насыщенного водяного пара в перегретый пар. Дайте краткое описание.
10. Приведите принципиальную схему паросиловой установки работающей по циклу Ренкина и изобразите цикл её работы в координатах $P-V$ и $I-S$
11. Идеальный цикл ДВС в диаграммах $P-V$ и $I-S$. Напишите формулу для определения термического к.п.д. этого цикла.
12. Покажите характер изменения температур рабочих жидкостей при движении их вдоль поверхности нагрева для прямотока и противотока. В каком случае поверхность рекуперативного теплообменника будет меньше и почему?
13. Какие элементы входят в состав рабочей горючей и сухой массы топлива?
14. Что такое теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива и как его определить? Что называется коэффициентом избытка воздуха?
15. Как определяют расход натурального топлива. Опишите виды теплообмена, существующие в природе.
16. Напишите формулу расчёта потерь тепла через плоскую многослойную стенку.
17. Напишите формулу расчёта потерь тепла через цилиндрическую многослойную стенку.
18. Как с помощью $I-S$ диаграммы определить давление, удельный объём, энтальпию и энтропию.
19. Виды термодпар и их характеристики. Принцип работы термодпары.
20. Манометры, их устройство, назначение и параметры применения.

Литература

1. Основная литература

1. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. Учебное пособие для вузов, 3-е изд, -М; Высшая школа 2003 – 260(4)с
2. Шатров М.Г., Камфер Г.М., Теплотехника, Высшая школа, 2003-67(1)с
3. Г.Н. Алексеев, Общая теплотехника, -М; Высшая школа, 1980 – 551(1)с
4. В.В. Васильев. Теплотехнические приборы и их поверка, Учебное пособие, Военный Краснознамённый институт им. А.Ф. Можайского, 1977-165с

5. Л. Д. Гинзбург, М. З. Зарипов, 2-е изд., Энергоатомиздат, 1990-223(1)сСправочное пособие по технике безопасности

2 Дополнительная литература

1. Г.А. Зисман, О.М. Тодес, Курс общей физики, ч.1. Механика. Основы термодинамики, физики реальных газов, жидкостей и твёрдого тела, Учебное пособие, Киев, Днипро 1994г

2. Трофимова Т.И. Курс общей физики, Учебное пособие для вузов, 18-е изд, М – Академия, 2010 -557(3)с

Ред. Г.С. Ландсберг, Элементарный учебник физики, - М,: Наука, Фиизматлит,1995, том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика