

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Дмитриев Николай Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 09.06.2026 06:07:00
Уникальный программный ключ:
f7c6227919e4cdbfb4d7b682991f8553b37cafb

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

Колледж автомобильного транспорта и агротехнологий

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ТЕПЛОТЕХНИКИ

Комплект практических работ

часть 2

Основы теплотехники

Учебно-методическое пособие

Молодежный 2025

УДК 532 – 621.1(072)

О – 753

Рекомендовано к печати предметно-цикловой комиссией колледжа автомобильного транспорта и агротехнологий Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (протокол № 4 от 26 ноября 2025 г.).

Составитель:

Кривобок Татьяна Дмитриевна, преподаватель колледжа АТ и АТ высшей квалификационной категории

Рецензент: Косарева А.В. к.т.н., доцент кафедры ТС и ОД Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ТЕПЛОТЕХНИКИ. Комплект практических работ. Часть 2. Основы теплотехники.: Учеб.-метод. пособие . – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2020. - 40с.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся колледжа автомобильного транспорта и агротехнологий специальности 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники и оборудования для подготовки к практическим занятиям и освоению теории, решению индивидуальных заданий (задач) по разделу «Основы теплотехники» дисциплины, с целью освоения практических умений и профессиональных компетенций, составлены в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.05 «Основы гидравлики и теплотехники».

© Кривобок Т.Д., 2025

© Издательство Иркутский ГАУ, 2025

Введение

Методические указания по выполнению практических работ разработаны согласно рабочей программе учебной дисциплины ОП.05 «Основы гидравлики и теплотехники» для специальности 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники и оборудования и требованиям к результатам обучения Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования (далее – ФГОС СПО) по специальности 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники и оборудования. Практические работы направлены на овладение обучающимися соответствующих профессиональных компетенций (ПК):

ПК 1.1. Выполнять регулировку узлов, систем и механизмов двигателя и приборов электрооборудования.

ПК 1.2. Подготавливать почвообрабатывающие машины.

ПК 1.3. Подготавливать посевные, посадочные машины и машины для ухода за посевами.

ПК 1.4. Подготавливать уборочные машины.

ПК 1.5. Подготавливать машины и оборудование для обслуживания животноводческих ферм, комплексов и птицефабрик.

ПК 1.6. Подготавливать рабочее и вспомогательное оборудование тракторов и автомобилей.

ПК 2.1. Определять рациональный состав агрегатов и их эксплуатационные показатели.

ПК 2.2. Комплектовать машинно-тракторный агрегат.

ПК 2.3. Проводить работы на машинно-тракторном агрегате.

ПК 2.4. Выполнять механизированные сельскохозяйственные работы.

ПК 3.1. Выполнять техническое обслуживание сельскохозяйственных машин и механизмов.

ПК 3.2. Проводить диагностирование неисправностей сельскохозяйственных машин и механизмов.

ПК 3.3. Осуществлять технологический процесс ремонта отдельных деталей и узлов машин и механизмов.

ПК 3.4. Обеспечивать режимы консервации и хранения сельскохозяйственной техники.

ПК 4.1. Участвовать в планировании основных показателей машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия.

ПК 4.2. Планировать выполнение работ исполнителями.

ПК 4.3. Организовывать работу трудового коллектива.

ПК 4.4. Контролировать ход и оценивать результаты выполнения работ исполнителями.

ПК 4.5. Вести утвержденную учетно-отчетную документацию.

Методические указания по выполнению практических работ направлены на овладение обучающимися следующих результатов:

умения:

- использовать гидравлические устройства и тепловые установки в производстве;

знания:

- основных законов гидростатики, кинематики и динамики движущихся потоков;
- особенностей движения жидкостей и газов по трубам (трубопроводам);
- основных положений теории подобия гидродинамических и теплообменных процессов;
- основных законов термодинамики;
- характеристик термодинамических процессов и теплообмена;
- принципов работы гидравлических машин и систем, их применения;
- видов и характеристик насосов и вентиляторов;
- принципов работы теплообменных аппаратов, их применения.

Практические работы следует проводить по мере изучения теоретического материала.

Работы рекомендуется производить в следующей последовательности:

- вводная беседа, во время которой кратко напоминаются теоретические вопросы по теме работы, разъясняется сущность, цель, методика выполнения работы;
- самостоятельное выполнение необходимых расчетов;
- обработка результатов расчетов, оформление документации, отчета;
- защита практической работы в форме устных ответов на контрольные вопросы.

Обязательная аудиторная нагрузка на практическую работу – 2 часа.

Нагрузка на внеаудиторную работу обучающихся (оформление отчета – написание выводов, подготовка к защите работы) – 1 час.

Методические указания к выполнению практической работы для студентов

1. К выполнению практической работы необходимо подготовиться до начала занятия, используя рекомендованную литературу и конспекты лекций.

2. Студенты обязаны иметь при себе линейку, карандаш, тетрадь для практических работ.

3. Отчеты по практическим работам должны включать в себя следующие пункты:

- название практической работы и ее цель;
- краткий порядок выполнения работы;
- далее пишется «Ход работы» и выполняются этапы практической работы, согласно указанному в работе порядку.

4. При подготовке к сдаче практической работы, необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы.

5. Если отчет по работе не сдан вовремя (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за работу снижается.

Система оценивания практической работы

При оценивании выполнения практической работы студентом учитываются следующие показатели:

- качество выполнения задания работы (выполнение работы в соответствии с заданием, правильность результатов работы);

- качество оформления отчета по работе (оформление отчета в соответствии с требованиями методических рекомендаций, правильность и четкость формулировки выводов по результатам работы);

- качество и глубина устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

Каждый показатель оценивается по 5-ти бальной шкале и выставляется средний балл по всем показателям.

Практическая работа №6. Определение параметров состояния рабочего тела

Цель: Научиться определять основные параметры рабочего тела и законы идеального газа. Понять в чем их отличие.

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Теплотехника – это наука, изучающая процесс перехода теплоты в механическую работу.

Идеальный газ – это такой газ, в котором молекулы находятся на большом расстоянии друг от друга, не взаимодействуют между собой.

Основные параметры состояния идеального газа:

1. Давление:

$$p = p_b + p_{изб},$$

где p_b – атмосферное (барометрическое давление Па, мм рт. ст., бар;

$p_{изб}$ – избыточное давление Па, мм рт. ст., бар.

$$1 \text{ бар} = 750 \text{ мм рт. ст.}$$

2. Температура:

$$T = t + 273,15 \text{ – абсолютная температура, К (Кельвин)}$$

где t – температура по шкале Цельсия, $^{\circ}\text{C}$.

3. Удельный объем:

$$v = \frac{V}{m}; \text{ обратная величина – } r = \frac{m}{V}$$

где V – объем, занимаемый газом, м^3 ;

m – масса газа, кг;

ρ – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Основные законы идеального газа:

Закон Бойля – Мариотта:

$$pv = const$$

где v – удельный объем, м^3 ;

p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

Закон Гей-Люссака:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

где v – удельный объем, м^3 ;

T – температура, К;

Закон Шарля:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

где p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;
 T – температура, К.

Закон Авогадро: В равных объемах различных газов при одинаковых давлениях и температуре содержится одинаковое число молекул.

$$\frac{\mu_1}{\rho_1} = \frac{\mu_2}{\rho_2} \quad \text{или} \quad \mu_1 v_1 = \mu_2 v_2 = idem$$

где μ – молярная масса, кг/моль;
 v – удельный объем, м³;
 ρ – плотность газа, кг/м³;
 μv – объем моля газа.

Модем (киломодем) газа называется масса газа в кг, равная его молекулярной массе.

Уравнение состояния идеального газа, или уравнение Клайперона:

$$pV = MRT,$$

где $V = \nu M$ – объем, занимаемый газом, м³;
 p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;
 $m = M$ – масса газа, кг.

R – газовая постоянная, для каждого газа имеет свое значение, Дж/(кг·К);
 T – температура, К.

Уравнение Менделеева-Клайперона для 1 кмоль:

$$pV_\mu = \mu RT,$$

где V_m – молярный объем (киломоля) газа, равный 22,4 м³/кмоль;
 p – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;
 μ – молярная масса, кг/моль;
 R_0 – универсальная газовая постоянная, $R_0 = 8315$ Дж/(моль·К);
 T – температура, К.

Пример решения задачи:

Вариант 0

Определите, как изменится объем жидкости при повышении температуры от t_1 до t_2 , если изначально объем жидкости составлял V , давление осталось неизменным.

Дано:

$$V = 0,8 \text{ м}^3$$

$$t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta V = ?$$

Решение:

Так как $p = \text{const}$, то для нахождения изменения объема мы применим закон Гей-Люссака: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$

Для этого сначала переведем температуру в Кельвин:

$$T_1 = 273 + 15 = 288 \text{ К}$$

$$T_2 = 273 + 43 = 316 \text{ К}$$

Находим конечный объем:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{288}{316} = 0,9114. \quad \text{Отсюда} \quad v_2 = 0,8 / 0,9114 = 0,878 \text{ м}^3$$

Тогда $\Delta V = V_2 - V_1 = 0,878 - 0,8 = 0,078 \text{ м}^3$

Следовательно, при изменении температуры объем увеличился на $0,078 \text{ м}^3$.

Ответ: $\Delta V = 0,078 \text{ м}^3$

Задания для практической работы 6.

Определение параметров состояния рабочего тела

Основная часть:

Задача №1. Манометр, установленный на паровом котле, показывает давление $p_{\text{изб}}$. Определите давление пара в котле, если атмосферное давление $p_{\text{атм}}$.

Задача №2. В баллоне содержится кислород массой m при давлении p и температуре t_1 . Вычислите вместимость баллона V .

Задача №3. Давление воздуха, измеренное ртутным барометром, равно p_6 при температуре ртути t_1 . Выразите это давление в барах.

Задача №4. В баллоне объемом V содержится аргон при определенных условиях массой m . Определите плотность и удельный объем аргона при этих условиях.

Задача №5. Резервуар вместимостью V заполнен углекислым газом. Избыточное давление в резервуаре $p_{\text{изб}}$, температура t_1 , а барометрическое давление $p_{\text{атм}}$. Определите:

- а) массу газа
- б) вес газа
- в) удельный объем газа

Задача №6. Определите, как изменится давление жидкости при повышении температуры от t_1 до t_2 , если изначально давление жидкости составляло p , удельный объем остался неизменным.

Дополнительная часть:

Задача №7. В баллоне объемом V находится гелий под давлением p при температуре t_1 . После того, как из баллона был израсходован гелий массой m , температура в баллоне понизилась на Δt . Определите давление p_2 гелия, оставшегося в баллоне. Молярная масса гелия $\mu = 0,004 \text{ кг/моль}$.

таблица 6 – Варианты заданий:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p , МПа	3,9	10,4	7,4	1,4	10,8	3,9	7,1	2	7	4,3
$p_{\text{изб}}$, кПа	1,4	2,2	1,9	1,6	1	1,2	1,8	2,2	1,5	2
$p_{\text{атм}}$, кПа	100	94	102	96	107	119	115	88	96	112
p_6 , мм рт. ст.	696	665	655	661	704	665	671	697	670	689
t_1 , °С	20	15	10	15	30	25	20	15	15	10
t_2 , °С	53	49	55	50	42	44	49	58	51	57
Δt , °С	10	9	7	5	20	15	9	8	7	5
V , м ³	1,3	0,7	0,9	0,6	1,8	1,3	0,8	1,4	1,5	0,8
m , кг	0,91	1,04	0,6	0,9	0,53	0,5	0,99	1,03	0,82	0,62

Продолжение таблицы 6

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
p , МПа	6,3	7,5	7,2	10,5	1,3	1,8	4,6	3,2	9,7	2,7
$p_{\text{изб}}$, кПа	2,2	0,9	1,9	1,4	1,4	1,1	1,2	1,6	1,6	1
$p_{\text{атм}}$, кПа	80	114	92	83	107	86	115	106	116	85
p_6 , мм рт. ст.	702	660	692	703	690	660	717	659	681	647
t_1 , °С	25	10	30	10	15	15	25	10	25	30
t_2 , °С	41	55	49	43	54	41	58	57	51	40

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	20	7	17	8	9	4	22	7	11	10
$V, \text{м}^3$	0,6	0,8	0,7	0,7	1,8	1,2	1,4	1,2	1,1	1,8
$m, \text{кг}$	0,46	0,71	0,75	0,73	0,58	0,66	1,03	0,86	0,76	0,89

Отчёт о работе должен содержать

Название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите, что изучает теплотехника?
2. Сформулируйте, какой физический смысл лежит в основе термодинамики?
3. Назовите, что такое термодинамическая система?
4. Назовите какие бывают термодинамические состояния?
5. Объясните отличие реального газа от идеального.
6. Назовите какие две температурные шкалы применяют для измерения температуры?
7. Назовите основные параметры состояния идеального газа?
8. Сформулируйте закон Бойля-Мариотта
9. Назовите, что утверждает закон Гей-Люссака?
10. Сформулируйте закон Шарля.
11. Объясните, какие параметры связывают уравнение идеального газа Клайперона?

Практическая работа №7.

Применение первого и второго закона термодинамики

Цель: Научиться применять 1 и 2 закон термодинамики для решения конкретных прикладных задач, изучить термодинамические процессы, и их особенности, понять, в чем заключается особенность цикла Карно, и что такое прямой и обратный циклы.

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Полная энергия системы:

$$E = E_k + E_n + U, \quad (7.1)$$

где E_k – кинетическая энергия системы, Дж;
 E_p – потенциальная энергия системы, Дж;
 U – внутренняя энергия, Дж.

Внутренняя удельная энергия вещества:

$$u = U/m, \quad \text{Дж/кг} \quad (7.2)$$

где U – внутренняя энергия системы, Дж;
 m – масса вещества, кг.

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{i}{2} m R T, \quad \text{Дж} \quad (7.3)$$

где i – число степеней свободы;
 R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314$ Дж/(моль·К);
 m – масса вещества, кг;
 μ – молярная масса, кг/моль;
 Δ – изменение температуры, К.

Удельная теплоемкость при постоянном давлении:

$$c_p = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}, \quad (7.4)$$

где ΔQ – количество теплоты, Дж;
 m – масса вещества, кг;
 ΔT – изменение температуры, К.

Удельная теплоемкость при постоянном объеме:

$$c_v = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$$

где ΔQ – количество теплоты, Дж;
 m – масса вещества, кг;
 ΔT – изменение температуры, К.

Показатель адиабаты:

$$k = c_p / c_v,$$

где c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг·К;
 c_v – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/кг·К.

Молярная теплоемкость:

$$c_{mp} = c_p / \mu, \quad (7.7)$$

где c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг·К;
 μ – молярная масса, кг/моль.

Первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где ΔU – изменение внутренней энергии системы, Дж;
 A – работа, Дж.

Второй закон термодинамики:

$$DS = DQ/T,$$

где DQ – количество теплоты, Дж;
 T – температура, К.

КПД тепловой машины:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Пример решения задачи:

Вариант 0

Найдите среднюю удельную теплоемкость кислорода при постоянном давлении при повышении его температуры от t_1 до t_2 .

Дано:

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 146^\circ\text{C}$$

c_p – ?

Решение:

Так как давлению постоянно $p = \text{const}$, то будем находить среднюю удельную теплоемкость при постоянном давлении c_p .

Искомую теплоемкость принимаем равной истинной Удельной изобарной теплоемкости при средней арифметической температуре.

Так как, в условии задачи нам даны t_1 и t_2 , то сначала найдем среднюю температуру $t_{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{20 + 146}{2} = 83^\circ\text{C}$

Затем из приложения 13 [1] (справочные данные), находим истинную удельную изобарную теплоемкость для кислорода при $t = 83^\circ\text{C}$: $c_p = 0,929$ кДж/(кг·К).

Это значение теплоемкости равно средней удельной теплоемкости кислорода в интервале температур от 20 до 146 $^\circ\text{C}$.

Ответ: $c_p = 0,929$ кДж/(кг·К)

Задания для практической работы 7

Применение первого и второго закона термодинамики

Основная часть:

Задача №1. Определите внутреннюю энергию азота массой m , который вначале находится при температуре T_1 . Затем азот изобарно нагрели до T_2 . Определить изменение внутренней энергии газа. Молярная масса азота равна $\mu = 0,028$ кг/моль.

Задача №2. Определите расход воздуха в системе охлаждения дизеля Q , и массу m , мощностью N , если отводимая теплота составляет 75% полезной мощности двигателя, а температура охлаждающего воздуха повышается до Δt .

Задача №3. В резервуаре емкостью V_1 находится воздух при давлении p_1 и температуре t_1 . Определите, как изменится температура t_2 и давление p_2 воздуха, если к нему подвести теплоту в количестве Q ?

Задача №4. Найдите среднюю киломолярную изобарную теплоемкость углекислого газа (CO_2) при повышении его температуры от t_1 до t_2 .

Задача №5. Определите КПД обратимого цикла теплового двигателя, если температуры теплоотдачи t_1 , а теплоприемника t_2 .

Задача №6. Тепловая машина работает по некоторому обратимому прямому циклу, КПД которого η . Вычислите величину холодильного коэффициента этой машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении?

Дополнительная часть:

Задача №7.

Кислород, занимающий объем V_1 под давлением P_1 , нагрели сначала при постоянном давлении до объема V_2 , а затем при постоянном объеме до давления P_2 . Определите:

- 1) изменение внутренней энергии U газа;
- 2) совершенную им работу A ;
- 3) количество тепла Q , переданное газу.

Молярная масса кислорода = 0,032 кг/моль.

Таблица 7 – Варианты заданий к практической работе 7:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_1, ^\circ\text{C}$	56	45	42	43	70	60	53	56	51	62
$t_2, ^\circ\text{C}$	105	180	300	135	291	114	117	254	243	249
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	52	27	48	26	49	60	82	58	27	96
m , кг	0,85	0,63	0,43	0,80	0,45	0,57	0,42	0,58	0,84	0,90
N , кВт	65,00	40,00	42,00	62,00	53,00	38,00	33,00	36,00	48,00	65,00
V_1 , м ³	0,70	1,90	1,40	0,90	1,70	1,30	2,10	1,00	1,90	2,50
V_2 , м ³	3,60	4,30	3,30	3,40	4,10	5,50	5,20	5,00	4,80	4,20
p_1 , МПа	0,80	0,70	1,10	0,70	1,00	1,90	1,40	1,70	0,50	0,50
p_2 , МПа	6,80	5,20	4,70	5,80	4,30	5,00	4,70	4,10	4,70	4,30
η , %	17,00	39,00	23,00	18,00	38,00	24,00	41,00	37,00	16,00	16,00
Q , Дж	240	235	258	299	302	304	308	325	242	309

Продолжение таблицы 7

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_1, ^\circ\text{C}$	44	12	64	17	23	56	30	13	64	68
$t_2, ^\circ\text{C}$	127	205	116	145	120	234	178	228	116	230
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	21	22	43	71	52	28	83	13	43	68
m , кг	0,57	0,90	0,56	0,65	0,55	0,90	0,80	0,92	0,56	0,58
N , кВт	62,00	34,00	35,00	37,00	58,00	50,00	71,00	43,00	35,00	70,00
V_1 , м ³	0,60	0,50	0,50	0,80	1,90	0,90	2,30	2,30	0,50	1,00
V_2 , м ³	5,40	5,30	5,00	3,70	3,10	5,10	3,70	4,60	5,00	4,60
p_1 , МПа	1,10	1,40	1,60	1,50	0,70	0,70	0,70	1,70	1,60	1,40
p_2 , МПа	6,00	6,40	6,60	5,70	4,50	5,90	6,20	5,70	6,60	5,70
η , %	24,00	35,00	23,00	25,00	38,00	16,00	24,00	20,00	23,00	35,00
Q , Дж	44	313	350	390	380	372	350	375	350	171

Отчёт работы должен содержать:

Название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите из чего складывается полная внутренняя энергия системы?
2. Объясните, что такое удельная внутренняя энергия?
3. Объясните, как определить энтальпию газа?
4. Назовите, что такое энтропия газа, в чем заключается ее физический смысл?
5. Назовите определение теплоемкости газов. Виды.
6. Сформулируйте первый закон термодинамики.
7. Запишите уравнение изохорного процесса.
8. Запишите основное уравнение для изобарного процесса.
9. Объясните физическую сущность изотермического процесса.
10. Запишите основное уравнение для адиабатического процесса.
11. Объясните в чем сущность политропного процесса?
12. Назовите, как определить термический КПД?
13. Сформулируйте, что означает «холодильный коэффициент»?
14. Назовите, в чем заключается сущность идеального цикла Карно?
15. Назовите, какой процесс называют обратным, а какой прямым?
16. Назовите известные вам трактовки второго закона термодинамики.

Практическая работа №8.

Основные положения теории теплообмена

Цель: научиться определять интенсивность излучения стенки, тепловой поток от газов к воздуху через кирпичную обмуровку и необходимую толщину тепловой изоляции.

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.

6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Согласно второму закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве возникает под действием разности температур и направлен в сторону уменьшения температуры.

Теория теплообмена изучает процессы распространения теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Перенос теплоты может передаваться тремя способами:

- теплопроводностью;
- конвекцией;
- излучением (радиацией).

Процесс передачи теплоты *теплопроводностью* происходит непосредственно при контакте тел или частицами тел с различными температурами и представляет собой молекулярный перенос передачи теплоты. При нагревании тела, кинетическая энергия его молекул возрастает и частицы более нагретой части тела, сталкиваясь с соседними молекулами, сообщают им часть кинетической энергии.

Конвекция – это перенос теплоты при перемещении и перемешивании всей массы неравномерно нагретых жидкости и газа. При этом, перенос теплоты зависит от скорости движения жидкости или газа прямо пропорционально. Это вид передачи теплоты сопровождается всегда теплопроводностью. Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называется *конвективным теплообменом*.

В инженерных расчетах часто определяют конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела. Это процесс конвективного теплообмена *называют конвективной теплоотдачей или теплоотдачей*.

Процесс передачи теплоты внутренней энергии тела в виде электромагнитных волн называется *излучением (радиацией)*. Этот процесс происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение электромагнитных волн в пространстве, поглощение излучения другим телом.

Совместный теплообмен излучением и теплопроводностью *называют радиационно-конвективным теплообменом*.

Интенсивность переноса теплоты характеризуется *плотностью теплового потока*, т.е. количеством теплоты, передаваемой в единицу времени через единичную площадь поверхности. Эта величина измеряется в $Вт/м^2$ и обычно обозначается q .

Явление теплопроводности состоит в переносе теплоты структурными частицами вещества – молекулами, атомами, электронами – в процессе их теплового движения.

В жидкостях и твердых телах – диэлектриках – перенос теплоты осуществляется путем непосредственной передачи теплового движения молекул и атомов соседним частицам вещества.

В газообразных телах распространение теплоты теплопроводностью происходит вследствие обмена энергией при соударении молекул, имеющих различную скорость теплового движения.

В металлах теплопроводность осуществляется главным образом вследствие движения свободных электронов.

В основу теплопроводности входит ряд математических понятий, определения которых, целесообразно напомнить и пояснить.

Температурное поле — это совокупности значений температуры во всех точках тела в данный момент времени.

Согласно основному закону теплопроводности — закону *Фурье* (1822 г.), вектор плотности теплового потока, передаваемого теплопроводностью, пропорционален градиенту температуры:

$$q = - \lambda \operatorname{grad} t, \quad (8.1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности вещества; его единица измерения, Вт/(м·К).

Знак минус в уравнении (8.1) указывает на то, что вектор q направлен противоположно вектору $\operatorname{grad} t$, т.е. в сторону наибольшего уменьшения температуры.

Перенос теплоты теплопроводностью

Однородная плоская стенка.

Простейшей и очень распространенной задачей, решаемой теорией теплообмена, является определение плотности теплового потока, передаваемого через плоскую стенку толщиной δ , на поверхностях которой поддерживаются температуры t_{w1} и t_{w2} . (рисунок 8.1).

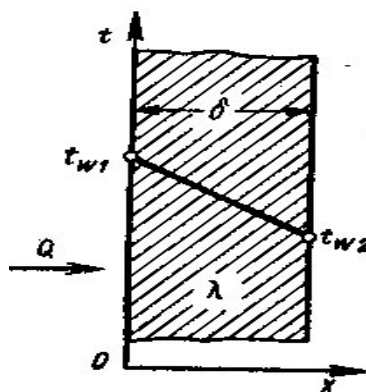


Рисунок 8.1 – Стационарное распределение температуры по толщине плоской стенки.

Температура изменяется только по толщине пластины – по одной координате x . Такие задачи называются одномерными, решения их наиболее просты, и в данном курсе мы ограничимся рассмотрением только одномерных задач. Учитывая, что для одномерного случая:

$$\operatorname{grad} t = dt/dx, \quad (8.2)$$

и используя основной закон теплопроводности:

$$q = - \lambda \operatorname{grad} t, \quad (8.3)$$

получаем дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности для плоской стенки:

$$q = - \lambda dt/dx, \quad (8.4)$$

Тогда, плотности теплового потока, будет иметь следующий вид:

$$q = - \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2), \quad (8.5)$$

или мощность теплового потока (тепловой поток):

$$Q = q \cdot F = - \frac{\lambda F}{\delta} (t_1 - t_2), \quad (8.6)$$

При расчете плотности теплового потока q и температуры поверхностей стенки, можно получить уравнение теплопередачи:

$$q = k(t_1 - t_2)$$

где k – коэффициент теплопередачи.

Конвективный теплообмен

Понятие конвективного теплообмена включает процессы теплообмена между жидкостью (газом) и твердым телом при их непосредственном соприкосновении.

Тепловой поток при конвективном теплообмене определяется по формуле Ньютона:

$$Q = \alpha F (t_{жс} - \tau), \quad (8.8)$$

где α – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи, Вт/(м²·С);

$t_{жс}$ – температура жидкости, °С;

τ – температура поверхности тела, °С;

F – площадь поверхности теплообмена, м².

Если принять $F=1\text{м}^2$, получим величину удельного теплового потока (плотность теплового потока) q , Вт/м².

В тепловых расчетах также используются различные критерии подобия.

Наиболее важным из них является критерий (или число) Нуссельта Nu . Это безразмерная величина, характеризующая процесс конвективного теплообмена. При известном числе Нуссельта Nu может быть легко вычислен коэффициент теплоотдачи:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda},$$

где l – характерный размер поперечного сечения потока жидкости (газа).

Число Прандтля Pr – это критерий подобия, характеризующий процессы обмена энергией между частицами жидкости (газа). Его также называют критерием физических свойств вещества, так как он не зависит от внешних факторов, а определяется только свойствами жидкости (газа).

Число Прандтля вычисляется по значениям кинематической вязкости ν и коэффициента температуропроводности a :

$$Pr = \nu/a, \quad (8.10)$$

Коэффициент температуропроводности a – это комплексный показатель, равный отношению коэффициента теплопроводности жидкости λ к ее удельной теплоемкости при постоянном давлении c_p и плотности ρ :

$$a = \lambda/c_p.$$

Теплообмен излучением

Под теплообменом излучением понимается перенос энергии посредством фотонов или электромагнитных колебаний. Количество излучаемой энергии поверхностью тела в единицу времени называется потоком излучаемой энергии $\Phi_{\text{изл}}$, или лучистым потоком, измеряемым в ваттах (Вт).

Если тепловой луч на своем пути встречает какое-нибудь тело, то часть лучистой энергии $\Phi_{\text{изл}}$ проникает в это тело, а часть отражается в окружающее пространство. Некоторая доля энергии, проникающая в тело, превращается в тепловую энергию, а остальная проходит сквозь него. Итак, падающий на тело лучистый поток $\Phi_{\text{пад}}$ может разделиться на три части: отраженную $\Phi_{\text{отр}}$, поглощенную $\Phi_{\text{погл}}$ и пропущенную $\Phi_{\text{пр}}$. Для количественной оценки каждой из этих частей вводят следующие понятия.

Отношение отраженной энергии $\Phi_{\text{отр}}$ к энергии $\Phi_{\text{пад}}$, падающей на поверхность тела, называют *отражательной способностью тела*:

Отношение поглощенной энергии $\Phi_{\text{погл}}$ к энергии $\Phi_{\text{пад}}$, падающей на поверхность тела, называют *поглощательной способностью тела*:

Отношение энергии $\Phi_{\text{пр}}$, прошедшей сквозь тело, к падающей энергии $\Phi_{\text{пад}}$, называют *пропускательной способностью тела*:

$$A = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{\text{пад}}}; \quad R = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{\text{пад}}}; \quad D = \frac{\Phi_{\text{пр}}}{\Phi_{\text{пад}}};$$

Тогда, в соответствии с законом сохранения энергии $A+R+D=1$.

Пример решения задачи:

Вариант 0

Определить сопротивление стенки чугунной трубы, если ее толщина δ , а теплопроводность чугуна $\lambda = 39 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$

Дано: СИ:

$$\delta = 2 \text{ мм} = 0,002 \text{ м}$$

$$\lambda = 39 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$$

R – ?

Решение:

$$\text{Сопротивление стенки чугунной трубы: } R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{39} = 0,000051 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

$$\text{Ответ: } R = 0,000051 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$$

Задания для практической работы 8. Основные положения теории теплообмена

Основная часть:

Задача №1. Определить сопротивление стенки чугунной трубы, если ее толщина δ , а теплопроводность чугуна $\lambda = 39 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$

Задача №2. Определить тепловой поток при конвективном теплообмене, если коэффициент теплоотдачи α_2 , площадь поверхности составляет F . Температура жидкости $t_{\text{ж}}$, а температура поверхности стенки τ .

Задача №3 Определить тепловой поток от газов к воздуху через кирпичную обмуровку котла площадью F и толщиной δ' , если температура газов t_1 , температура воздуха t_2 , коэффициент теплообмена на внутренней поверхности α_1 и коэффициент теплообмена на наружной поверхности α_2 и коэффициент теплопроводности обмуровки $\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$. Определить также температуры обеих поверхностей обмуровки.

Задача №4. Определить критерии подобия Прандтля и Нуссельта, если в трубе длиной l течет вода (коэффициент теплопроводности воды $\lambda = 0,6 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, и коэффициент теплоотдачи $\alpha = 340 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{С)}$), а удельная теплоемкость составляет $c_p = 1,87 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$. Коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 96 \text{ м}^2/\text{с}$.

Задача №5. Падающий на стену лучистый поток с энергией $\Phi_{\text{пад}}$, разделится на энергии: отраженную $\Phi_{\text{отр}}$, поглощенную $\Phi_{\text{погл}}$ и пропущенную. Определить:

1. отражательную способность тела
2. Поглощательную способность тела
3. Пропускательную способность тела
4. Проверить соответствие закона сохранения энергии.

Дополнительная часть:

Задача №6. Определить интенсивность излучения стенки с коэффициентом излучения стенки C , если температура поверхности стенки t_1 . Определить также степень черноты стенки.

Таблица 8 – Варианты заданий к практической работе 8:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ , мм	5	3	2	2	4	2	2	3	3	5
α_1 , Вт/(м ²⁰ С)	20	24,6	22,9	22,1	24,4	20,1	20,4	21,2	21,3	21,5
α_2 , Вт/(м ²⁰ С)	7,5	7	7,8	7,4	8	7,8	7,1	7	7,9	7,8
F, м ²	142	123	149	122	147	125	111	121	130	115
t _ж , К	280	293	283	296	291	283	297	296	293	295
τ , °С	5	6	5	5	3	4	3	3	5	4
δ , мм	295	240	236	295	258	288	291	242	251	245
t ₁ , °С	570	561	577	600	538	503	510	572	525	600
t ₂ , °С	34	27	38	30	31	24	30	40	30	28
l, км	1,2	1,6	1,4	1,1	1,4	1,5	1,3	1,4	1,4	1,6
$\Phi_{\text{пад}}$, кал/ см ²	1007	1025	1026	1029	1014	1015	1019	1027	1011	1006
$\Phi_{\text{отр}}$, кал/ см ²	436	447	430	405	441	425	427	420	422	409
$\Phi_{\text{полг}}$, кал/ см ²	473	475	472	460	479	479	473	476	453	463
c, Вт/(м ²⁰ С)	4,2	4,3	4,8	4,4	4,5	4,6	4,2	4,7	4,3	4,6

Продолжение таблицы 8

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
δ , мм	3	4	4	5	5	5	5	4	4	3
α_1 , Вт/(м ²⁰ С)	21,4	22,2	23,8	20,3	23,1	22,7	20,1	24,3	24	20,9
α_2 , Вт/(м ²⁰ С)	7,8	7,3	6,8	8,1	8,3	8,2	8,3	6,9	7,5	7,5
F, м ²	139	124	121	122	114	141	134	122	133	124
t _ж , К	280	294	290	287	289	295	299	294	291	281
τ , °С	3	3	3	6	3	6	3	6	3	6
δ , мм	295	225	232	222	246	296	208	252	250	240
t ₁ , °С	501	571	536	536	520	564	598	519	520	581
t ₂ , °С	39	22	32	26	31	31	27	38	33	24
l, км	1,6	1,1	1,3	1,3	1,2	1,3	1,1	1,2	1,6	1,2
$\Phi_{\text{пад}}$, кал/ см ²	1007	1050	1038	1017	1031	1041	1001	1034	1009	1004
$\Phi_{\text{отр}}$, кал/ см ²	426	416	420	433	418	413	450	407	447	434
$\Phi_{\text{полг}}$, кал/ см ²	456	476	452	467	454	459	454	461	459	459

с, Вт/ (м ²⁰ С)	4,3	4,2	4,3	4,5	4,8	4,1	4,7	4,8	4,8	4,8
----------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Отчёт работы должен содержать:

Название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите три основные виды теплообмена.
2. Объясните механизм обмена энергии в процессе теплопроводности.
3. Объясните процесс теплового излучения.
4. Какой процесс называется теплопередачей?
5. Дайте определение теплового потока.
6. Запишите математическое выражение закона Фурье.
7. Дайте определение конвективного теплообмена.
8. От каких критериев подобия зависит число Нуссельта в случае конвективного теплообмена?
9. Объясните понятие лучистой энергии?
10. Объясните следующие понятия способности тела: поглощательная, отражательная и пропускательная.

Практическая работа №9.

Определение потерь давления в воздуховодах, построение характеристик воздуховодов

Цель: научиться определять неблагоприятное расположение каналов воздуховодов, производить расчет вентиляционных воздуховодов, определять потери давления в воздуховодах.

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Канальными системами естественной вентиляции называются системы, в которых подача наружного воздуха или удаление загрязненного осуществляется по специальным каналам, предусмотренным в конструкции здания, или приставным воздуховодам.

Основная задача вентиляции – поддерживать в помещениях воздух, отвечающий по своему качеству санитарно-гигиеническим требованиям.

Естественное давление:

$$\Delta p_e = h_i(\rho_n - \rho_v), \text{Па} \quad (9.1)$$

где h_i – высота воздушного столба, принимаемая от центра вытяжного отверстия до устья вытяжной шахты, м;

ρ_n, ρ_v – плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м³.

Необходимое условие нормальной работы естественной вентиляции:

$$\sum (Rl\beta + Z)\alpha = \Delta p_e, \text{Па} \quad (9.2)$$

где R – удельная потеря давления на трение, Па/м;

l – длина воздухопроводов (каналов), м;

Rl – потеря давления на трение расчетной ветви, Па;

Z – потеря давления на местные сопротивления, Па;

Δp_e – располагаемое давление, Па;

α – коэффициент запаса, $\alpha = 1,1 - 1,15$;

β – поправочный коэффициент на шероховатость поверхности.

Естественное давление не зависит от длины горизонтальных воздухопроводов, тогда как для преодоления сопротивлений в коротких ветвях воздухопроводов, безусловно, требуется меньше давления, чем в ветвях значительной протяженности.

Удельная потеря давления:

$$R = \Delta p_e / \sum L,$$

где $\sum L$ – суммарная длина воздухопроводов (каналов), м;

Δp_e – располагаемое давление, Па.

Перекачка по трубам газов широко используется для различных целей (бытовых и технических). По сравнению с движением капельных жидкостей движение газов характеризуется рядом особенностей, обуславливаемых различиями физических свойств капельных жидкостей и газообразных жидкостей.

Различают два случая движения газа по газопроводам в зависимости от перепада давления Δp между начальным и конечным сечениями труб, отнесенного к среднему давлению:

1. Малые относительные перепады $\left(\frac{\Delta p}{p} \leq 5\%\right)$;
2. Большие относительные перепады $\left(\frac{\Delta p}{p} > 5\%\right)$

В первом случае, возможно, пренебрегать сжимаемостью газов, т.е. считать плотность транспортируемого газа неизменной по всей длине трубопровода.

При больших относительных перепадах пренебрегать сжимаемостью газа нельзя и нужно учитывать непрерывный характер изменения плотности газа в зависимости от давления.

Пример решения задачи:

Вариант 0

Рассчитайте воздуховод системы естественной вытяжной вентиляции, обслуживающей врачебные кабинеты двухэтажного здания поликлиники. Аксонометрическая схема системы вентиляции с указанием объема воздуха, проходящего по каждому участку, длины и номеров участков приведена на рисунке 8.1. Воздух удаляется из верхней зоны помещений на высоте 0,5 м от потолка. Высота этажей, включая толщину перекрытия – 3,3 м. Высота чердака под коньком крыши 3,6 м. Температура наружного воздуха для расчета вытяжной системы естественной вентиляции принимаем равной t_1 .

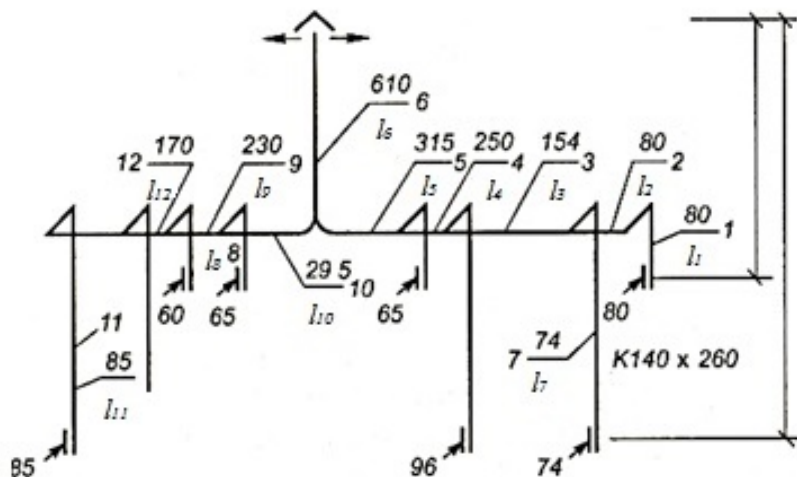
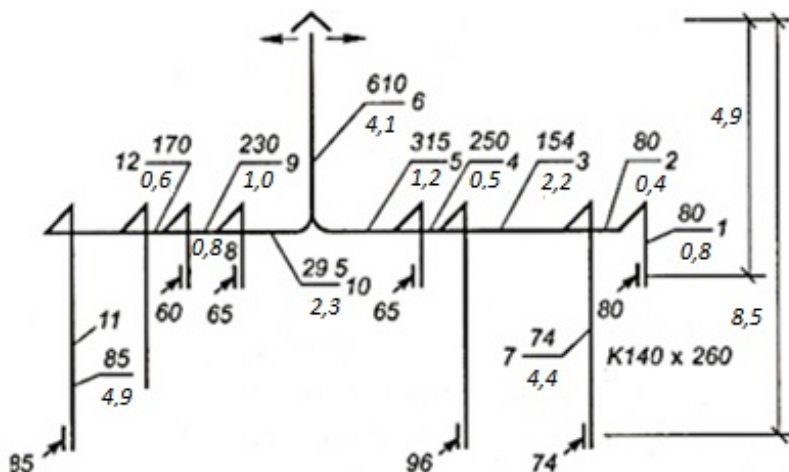


Рисунок 8.1 - Воздуховод системы вентиляции, к примеру решения задачи

Дано:

- $l_1 = 0,8 \text{ м}$
- $l_2 = 0,4 \text{ м}$
- $l_3 = 2,2 \text{ м}$
- $l_4 = 0,5 \text{ м}$
- $l_5 = 1,2 \text{ м}$
- $l_6 = 4,1 \text{ м}$
- $l_7 = 4,4 \text{ м}$
- $l_8 = 0,8 \text{ м}$
- $l_9 = 1,0 \text{ м}$
- $l_{10} = 2,3 \text{ м}$
- $l_{11} = 4,9 \text{ м}$
- $l_{12} = 0,6 \text{ м}$



$\Delta p_{\text{вд}} - ?$

Рисунок 8.2 - Воздуховод системы вентиляции

Решение:

Температура наружного воздуха для расчета вытяжной системы естественной вентиляции принимаем равной $t_1 = 12^\circ\text{C}$.

Тогда, из приложения 14 (справочные данные) $\rho_{12} = 1,256 \text{ кг/м}^3$ $t_1 = 12^\circ\text{C}$
Внутреннюю температуру воздуха во врачебных кабинетах принимаем 20°C , тогда $\rho_{20} = 1,205 \text{ кг/м}^3$.

Располагаемое естественное давление в системе вентиляции для помещений второго этажа равно:

$$Dp_2 = 5,5(1,256 - 1,205)9,8 = 2,75 \text{ Па}$$

Для помещений первого этажа:

$$Dp_1 = 8,8(1,256 - 1,205)9,8 = 4,40 \text{ Па}$$

Расчет воздуховодов начинаем с наиболее неблагоприятного расположенного канала (самого удаленного)

Из схемы системы вентиляции видно, что таким будет канал второго этажа правой ветки, обозначенный 1.

Действительно, возможная удельная потеря давления для участков 1, 2, 3, 4, 5 и 6 при общей их длине $\sum l = 0,9 + 0,5 + 3 + 0,5 + 1,4 + 4,6 = 10,9 \text{ м}$

$$Dp_{\text{вд}2} = 2,75/10,9 = 0,25 \text{ Па.}$$

а для участков 7, 3, 4, 5 и 6 при общей длине их

$$\sum l = 4,2 + 3 + 0,5 + 1,4 + 4,6 = 13,7,$$

$$Dp_{\text{вд}1} = 4,40/13,7 = 0,32 \text{ Па.}$$

Ответ: $Dp_{\text{вд}2} = 0,25 \text{ Па}$, $Dp_{\text{вд}1} = 0,32 \text{ Па}$.

Задания для практической работы 9.

Определение потерь давления в воздуховодах, построение характеристик воздуховодов

Задача №1. Вентиляция уличной и внутренней канализационных сетей осуществляется вследствие разности веса теплого газа в сети и веса атмосферного воздуха. Газ вытесняется через стояки 1, заканчивающиеся над крышами зданий, а воздух притекает через зазоры между крышками 2 и люками колодцев. Определите разность давлений в канализационной сети n – этажного дома и в окружающем пространстве на уровне поверхности земли, если температура газов в сети t_1 , а температура воздуха t_2 .

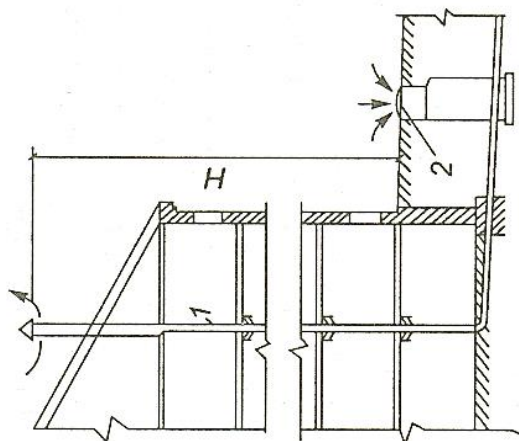


Рисунок 8.3 – Разрез здания, к задаче №1

Задача №2. Рассчитайте воздуховод системы естественной вытяжной вентиляции, обслуживающей врачебные кабинеты двухэтажного здания поликлиники. Аксонометрическая схема системы вентиляции с указанием объема воздуха, проходящего по каждому участку, длины и номеров участков приведена на рисунке 8.4. Воздух удаляется из верхней зоны помещений на высоте 0,5 м от потолка. Высота этажей, включая толщину перекрытия – 3,3 м. Высота чердака под коньком крыши 3,6 м. Температура наружного воздуха для расчета вытяжной системы естественной вентиляции принимаем равной t_1 .

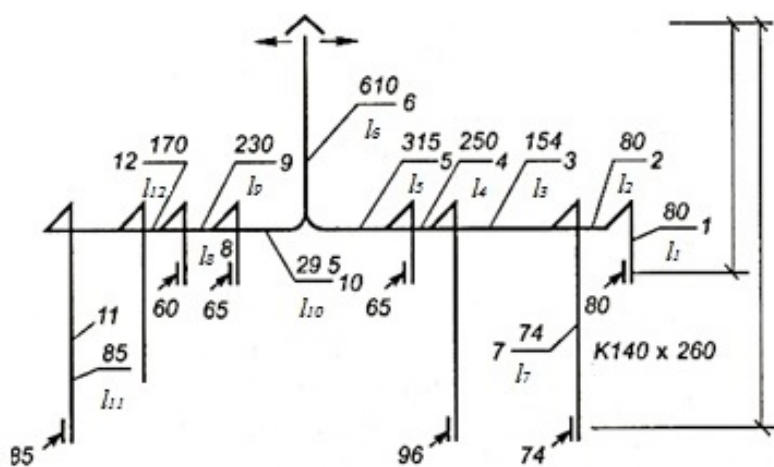


Рисунок 8.4 – Воздуховод, к задаче № 2

Таблица 9 – Варианты заданий к практической работе 9

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_1, ^\circ\text{C}$	14	11	9	9	8	8	6	5	12	13
$t_2, ^\circ\text{C}$	-30	-18	-22	-24	-29	-14	-25	-23	-23	-10
n, эт.	9	10	10	9	10	10	10	10	10	10
$l_1, \text{м}$	0,8	0,4	0,8	0,8	0,4	0,7	0,4	0,8	0,4	0,8
$l_2, \text{м}$	0,2	0,5	0,2	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	0,5
$l_3, \text{м}$	3	2,7	2,9	2,4	2,8	2,3	2,4	2,7	2,8	3
$l_4, \text{м}$	0,5	0,2	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2
$l_5, \text{м}$	1,5	1,5	1,3	1,5	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,5
$l_6, \text{м}$	4,6	4,3	4,3	4,6	4,3	4,2	4,4	4	4	4,4
$l_7, \text{м}$	3,9	4,5	4,4	4	3,7	4	4,3	4,1	4,4	4,3
$l_8, \text{м}$	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$l_9, \text{м}$	1,1	1	1,1	0,9	1	0,9	0,9	1	0,9	1,1

$l_{10}, \text{ м}$	1,8	1,8	2	2,4	2,2	2,2	2,3	1,9	2,2	2
$l_{11}, \text{ м}$	4,6	4,9	4,9	4,9	4,9	4,7	4,7	4,8	4,8	4,6
$l_{12}, \text{ м}$	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,7

Продолжение таблицы 9

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_1, ^\circ\text{C}$	6	11	6	9	12	14	5	9	5	9
$t_2, ^\circ\text{C}$	-23	-30	-17	-10	-24	-14	-28	-24	-29	-15
$n, \text{ эт.}$	10	9	9	10	10	10	10	9	10	9
$l_1, \text{ м}$	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,6	0,9	0,9	0,6	0,5
$l_2, \text{ м}$	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5
$l_3, \text{ м}$	2,9	2,3	2	2,8	2,1	2,9	2,7	2,4	2,6	2,4
$l_4, \text{ м}$	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2
$l_5, \text{ м}$	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5
$l_6, \text{ м}$	3,9	4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4	4,3
$l_7, \text{ м}$	3,9	4,5	4,2	4,3	3,7	4,3	4,5	4,2	4	4,1
$l_8, \text{ м}$	0,7	0,8	0,9	0,6	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,7
$l_9, \text{ м}$	0,9	0,9	0,9	1	1,1	0,9	0,9	1,1	0,9	0,9
$l_{10}, \text{ м}$	2,1	1,9	1,9	2,3	2,1	2,1	2	2,2	2,1	1,8
$l_{11}, \text{ м}$	4,6	4,5	4,5	4,6	4,8	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7
$l_{12}, \text{ м}$	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7

Отчёт работы должен содержать

Название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите, что является канальными системами естественной вентиляции?
2. Объясните принцип действия вытяжной вентиляции.
3. Сформулируйте основную задачу естественной вентиляции.
4. Назовите необходимое условие нормальной работы естественной вентиляции.
5. Запишите формулу для определения естественного давления в воздуховодах.
6. Объясните, чем отличается методика гидравлического расчета газопроводов при больших и малых перепадах давления?

Практическая работа № 10.

Изучение работы и построение характеристик центробежного вентилятора

Цель: научиться определять характеристики центробежных вентиляторов, изучить виды вентиляторов и принцип их работы.

Порядок выполнения работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Вентиляторами называют устройства, служащие для перемещения воздуха и других газов при давлении не более $0,15 \cdot 10^5$ Па.

Они, как и насосы, находят применение во многих отраслях народного хозяйства и, в частности, в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Вентиляторы разделяют на центробежные и осевые.

Центробежный вентилятор состоит из рабочего колеса (ротора) 2 с лопатками, спирального корпуса (кожуха) 3 и станины 1. Рабочее колесо насажено на вал 4, который установлен в подшипниках на станине.

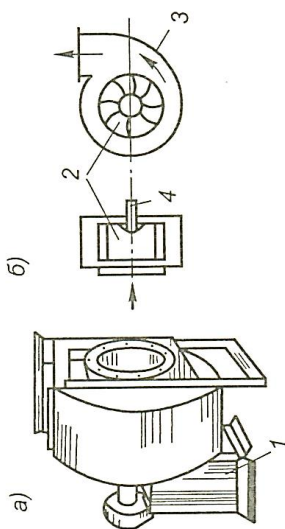


Рисунок 9.1 – а) Общий вид; б) схема устройства центробежного вентилятора

Центробежные вентиляторы применяются в вентиляционных системах промышленных и гражданских зданий, в агрегатах воздушного отопления и кондиционирования воздуха.

Конструктивное устройство центробежного вентилятора показано на рисунке 9.2. Рабочее колесо вентилятора состоит из литой ступицы 1, жестко сопряженной с основным диском 2. Рабочие лопатки 3 крепятся к основному диску 2 и к переднему диску 4, обеспечивающему необходимую жесткость лопастной решетки 5. Корпус 6 вентилятора крепится к литой или сварной станине 9, на которой располагаются подшипники 10, несущие вал вентилятора с посаженным на него рабочим колесом; 7 и 8 – фланцы крепления всасывающей и напорной труб, 11 – шкив привода вентилятора.

Принцип работы центробежного вентилятора аналогичен принципу работы центробежного насоса. Воздух, поступивший через входное отверстие вентилятора в полость рабочего колеса, захватывается лопатками и приводится во вращение. Под действием возникающих сил при этом центробежных сил он сжимается, отбрасывается в спиральный кожух и через нагнетательный патрубок выходит в воздуховод.

Осевой вентилятор представляет собой расположенное в цилиндрическом кожухе 2 лопаточное колесо 1, при вращении которого поступающий через входное отверстие воздух под действием лопаток перемещается между ними в осевом направлении.

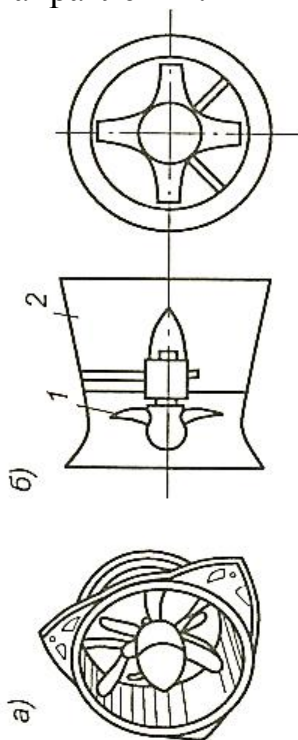


Рисунок 9.3 – а) Общий вид; б) схема устройства осевого вентилятора

Колесо осевого вентилятора состоит из втулки, на которой закреплены наглухо или в которой встроены лопатки. Число лопаток на колесе от 2 до 32. Осевые лопатки с лопатками симметричного профиля называются – реверсивными, а с лопатками несимметричного профиля – нереверсивными.

Центробежные вентиляторы по сравнению с осевыми развивают большее давление, поэтому их целесообразно применять для подачи воздуха при значительном давлении, а осевые – для подачи относительно большого объема воздуха при небольшом давлении.

Основные технические характеристики вентиляторов:

1. Подача вентиляторов L , $\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{с}$ – это объем воздуха, перемещаемого вентилятором.
2. Полное давление:

$$p_{\text{п}} = \rho \psi v_2^2$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

v – окружная скорость, м/с;

ψ – коэффициент давления вентилятора, $\psi = \eta_{\text{г}} \varphi$;

$\eta_{\text{г}} = 1 - \frac{\Delta p}{p_{\text{т}}}$ – гидравлический КПД вентилятора;

$p_{\text{т}}$ – теоретическое давление, развиваемое вентилятором, Па;

$\varphi_2 = \frac{c_{v2}}{v_2}$ – коэффициент закручивания потока.

3. Теоретическая полезная мощность, передаваемая вентилятором перемещаемой среде:

$$N_{\text{Т}} = p_{\text{п}} L / 1000,$$

где $p_{\text{п}}$ – полное давление, Па;

L – подача вентилятора, м³/с.

4. КПД вентилятора – отношение полезной мощности к действительной:

$$\eta = N_{\text{Т}} / N$$

5. Установочная мощность двигателя:

$$N_{\text{уст}} = K N$$

где K – коэффициент запаса, принимаемый для центробежных вентиляторов, $K = 1,5 - 1,1$, для осевых $K = 1,2 - 1,05$.

6. Законы подобия:

$$L_1 / L_2 = n_1 / n_2; \quad p_1 / p_2 = (n_1 / n_2)^2; \quad N_1 / N_2 = (n_1 / n_2)^3;$$

где n_1 – первоначальное число оборотов, об/мин;

n_2 – конечное число оборотов, об/мин;

L_1 – первоначальная подача воздуха при начальном числе оборотов, м³/с;

L_2 – конечная подача при конечном числе оборотов, м³/с;

p_1 – первоначальное давление воздуха, Па;

p_2 – конечный давление воздуха при конечном числе оборотов, Па;

N_1 – первоначальная мощность при n_1 , Вт;

N_2 – конечная мощность при конечном числе оборотов, Вт.

7 Критерий быстроходности:

$$n_{\text{вд}} = 53 L^{1/2} \omega / p_{\text{п}}^{3/4},$$

где ω – угловая скорость вращения, с⁻¹;

L – подача вентилятора, м³/с;

$p_{\text{п}}$ – полное давление вентилятора, Па.

Для центробежных вентиляторов критерий быстроходности составляет 40 – 80, а для осевых 80 – 300.

Характеристикой вентилятора называется зависимость основных величин, определяющих его работу, от расхода воздуха.

Характеристика строится в координатах L , м³/с, и p , Па, причем проводят линии полного давления при различной частоте вращения, линия динамического давления, а также линии КПД и потребляемой мощности.

Пользуясь универсальной аэродинамической характеристикой, можно всегда выбрать наиболее эффективный режим работы вентилятора, при котором будет максимальный КПД.

Пример решения задачи:

Вариант 0

Определите критерий быстроходности вентилятора и какой вентилятор нужен, если его подача L , давление p_n и угловая частота вращения рабочего колеса.

Дано:

$$L = 1 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$p_n = 800 \text{ Па}$$

$$\omega = 89 \text{ с}^{-1}$$

$$n_{\text{вд}} - ?$$

Решение:

Критерий быстроходности определим по формуле: $n_{\text{вд}} = 53L^{1/2}\omega/p_n^{3/4}$

$$\text{Тогда, } n_{\text{вд}} = 53 \cdot 1^{1/2} \cdot 89 / 800^{3/4} = 31,32$$

Следовательно, можно выбрать центробежный вентилятор.

Ответ: $n_{\text{вд}} = 31,32$. Нужен центробежный вентилятор.

Задания для практической работы 10.

Изучение работы и построение характеристик центробежного вентилятора

Основная часть:

Задача №1. Определите критерий быстроходности вентилятора и какой вентилятор нужен, если его подача L , давление p_n и угловая частота вращения рабочего колеса.

Задача №2. Определите давление, развиваемое центробежным вентилятором, если коэффициент давления Ψ , частота вращения рабочего колеса n_1 , наружный диаметр колеса D , а плотность воздуха ρ .

Задача №3. При частоте вращения вала n_1 , и подаче L , центробежный вентилятор развивает давление p , и потребляет мощность N . Определите, как изменятся параметры насоса ($\Delta L, \Delta p, \Delta N$), если частота вращения снизится до n_2 .

Дополнительная часть:

Задача №4. Постройте характеристику вентилятора p_n [Па] от L [тыс. м³/ч], если число оборотов вентилятора n , мощность N , а КПД η .

Таблица 10 – Варианты заданий к практической работе 10

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L, \text{ м}^3/\text{с}$	4	1	2	1	4	2	2	1	2	5
$p_n, \text{ Па}$	715	797	700	790	747	787	789	748	780	792
$p, \text{ кПа}$	3,4	3,8	3,4	3,3	4,2	3,1	3,8	4,4	3,6	4,7
$\omega, \text{ с}^{-1}$	90	89	85	85	88	91	85	89	91	95
Ψ	0,83	0,87	0,85	0,78	0,71	0,76	0,77	0,72	0,85	0,79

$n_1, \text{мин}^{-1}$	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	800	900	1000
$n_2, \text{мин}^{-1}$	513	440	446	500	464	577	569	545	560	434
$D, \text{м}$	0,54	0,51	0,45	0,41	0,52	0,42	0,4	0,5	0,52	0,42
$\rho, \text{кг/м}^3$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$N, \text{кВт}$	20	10	4,5	2,8	14	1	1,7	20	10	4,5
η	0,5	0,6	0,43	0,64	0,5	0,6	0,43	0,64	0,64	0,5

Продолжение таблицы 10

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L, \text{м}^3/\text{с}$	1	3	4	3	4	4	3	2	3	5
$p_p, \text{Па}$	776	800	705	728	718	799	786	791	795	712
$p, \text{кПа}$	4,7	3,7	4,2	3,9	4,4	4,5	4,2	3,2	5	3,3
$\omega, \text{с}^{-1}$	88	95	91	92	93	89	92	89	86	89
Ψ	0,9	0,7	0,9	0,79	0,85	0,87	0,73	0,78	0,82	0,76
$n_1, \text{мин}^{-1}$	1100	1200	1300	1400	800	900	1000	1100	1200	1300
$n_2, \text{мин}^{-1}$	433	554	512	517	508	496	486	560	417	550
$D, \text{м}$	0,4	0,6	0,34	0,33	0,48	0,3	0,52	0,4	0,48	0,36
$\rho, \text{кг/м}^3$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$N, \text{кВт}$	2,8	14	1	1,7	20	10	4,5	2,8	14	1
η	0,6	0,43	0,64	0,5	0,6	0,43	0,64	0,64	0,5	0,6

Отчёт работы должен содержать:

Название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите назначение вентилятора и их виды.
2. Объясните принцип работы центробежного вентилятора.
3. Расскажите классификацию центробежных вентиляторов.
4. Назовите основные технические характеристики вентиляторов.
5. Объясните, как определить полезную мощность и КПД вентилятора.
6. Назовите, что характеризует критерий быстроходности вентилятора.
7. Назовите, что называют характеристикой вентилятора?

Список литературы

1. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики [Текст] : учеб. для сред. спец. учеб. заведений / О. Н. Брюханов, В. И. Коробко, А. Т. Мелик-Аракелян. - М. : ИНФРА-М, 2011.– 249 с... 20 экз

2. Гидравлика, пневматика и термодинамика: курс лекций / под ред. В.М.Филина. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2008. –320 с. – (Профессиональное образование).
3. Замалеев, З. Х. Основы гидравлики и теплотехники [Электронный ресурс] / З. Х. Замалеев, В. Н. Посохин, В. М. Чефанов. – Электрон. текстовые дан. – Москва : Лань", 2014. – 352 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/39146#book_name.

Интернет-ресурс: «Гидравлика и теплотехника». Форма доступа: ru.wikipedia.org.

Содержание

Введение	3
Практическая работа 6	
Определение параметров состояния рабочего тела	30
Практическая работа 7	
Применение первого и второго закона термодинамики	34
Практическая работа 8	
Основные положения теории теплообмена	38
Практическая работа 9	
Определение потерь давления в воздуховодах, построение характеристик воздуховодов	44
Практическая работа 10	
Изучение работы и построение характеристик центробежного вентилятора	50
Список литературы	54

