

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ А. А. ЕЖЕВСКОГО

ТЕПЛОТЕХНИКА

*Методические указания и контрольные задания
по дисциплине «Теплотехника» для студентов заочной и очной форм обучения
направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия (квалификация «бакалавр»)
Профили «Технические системы в агробизнесе», «Технический сервис в
агроинженерном комплексе», «Оборудование для хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции»*

Иркутск 2016

УДК 621.125: 621.438: 621.43(075)

Рецензент:

Доцент кафедры теплоэнергетики Иркутского национального исследовательского государственного технического университета, канд. техн. наук, доцент В.А. Бочкарев

Теплотехника: метод. указания и контрольные задания по дисциплине «Теплотехника» для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия (квалификация (степень) «бакалавр»), профили «Технические системы в агробизнесе», «Технический сервис в агроинженерном комплексе», «Оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» / авт.-сост. В.В. Нечаев. – Иркутск: ФГБОУ ВПО ИрГАУ, 2016. – 15 с.

Методические указания предназначены для изучения курса «Теплотехника». Основной целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении контрольной работы.

Для бакалавров и магистров очной и заочной форм обучения направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

© Нечаев В.В., 2016.

© Издательство ИрГАУ, 2016.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические указания составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (квалификация (степень) «бакалавр»).

Дисциплина «Теплотехника» относится к базовой части БЗ основной образовательной программы бакалавриата.

Теплотехника – дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принцип действия и устройство оборудования для проведения этих процессов.

Теплотехника как учебная дисциплина наиболее тесно связана с такими смежными дисциплинами, как математика, физика, химия и гидравлика, знания, которых используются при ее изложении. В свою очередь, сведения, полученные студентами из курса теплотехники, необходимы для изучения ими дисциплин профессионального цикла по профилю направления подготовки, а также для будущей профессиональной деятельности.

Цель курса состоит в формировании у студентов теоретических знаний по термодинамике, теории теплообмена, теплоэнергетическим установкам и применению теплоты в сельском хозяйстве.

Предметом изучения являются основные законы термодинамики и тепломассообмена, термодинамические процессы и циклы, свойства рабочих тел, основы расчета теплообменных аппаратов, горения, энерготехнологии, энергосбережения, вторичные энергоресурсы, возобновляемые источники энергии, теплоэнергетические и холодильные установки, использование теплоты в отрасли, системы теплоснабжения, связь теплоэнергетических установок с проблемой защиты окружающей среды.

В результате освоения дисциплины «Теплотехника» студент должен:
знать:

- техническую термодинамику;
- основы теории теплообмена;

уметь:

- анализировать термодинамические процессы и циклы применительно к идеальным и реальным газам;
- анализировать теплообменные процессы;
- проводить теплотехнические расчёты в области технической термодинамики и тепломассообмена;
- грамотно пользоваться справочниками, каталогами, таблицами, диаграммами при выполнении теплотехнических расчётов;

владеть:

- основными методами теплотехнического расчёта;
 - умением пользоваться теплотехнической литературой.
- обладать компетенциями:*

– использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

– владеет знаниями направлений полезного использования природных ресурсов, энергии и материалов при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов.

1.1. Содержание дисциплины «Теплотехника»

Таблица 1. Основные разделы дисциплины

№ п.п.	Наименование разделов и тем	Распределение часов по видам занятий			Литература (№ по списку)
		Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1	Техническая термодинамика				
1.1	Предмет технической термодинамики. Основные параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа	1		2	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
1.2	Газовые смеси. Способы задания газовых смесей. Теплоемкость		1	3	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
1.3	Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия. Теплота. Работа.	1		2	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
1.4	Исследование термодинамических процессов		1	4	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
1.5	Циклы. Анализ цикла Карно. Второй закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов	1		4	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
1.6	Циклы Д.В.С. и Г.Т.У.	1		2	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
1.7	Термодинамический анализ работы компрессоров			2	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14

Продолжение табл.1

№ п.п.	Наименование разделов и тем	Распределе- ние часов по видам заня- тий			Литература (№ по списку)
		Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1.8	Реальные газы. Водяной пар. Процессы изменения состояния водяного пара. Термодинамические циклы паросило- вых установок. Холодильные циклы		1	4	1, 2, 4, 6, 12, 13, 14
2	Теория тепломассообмена				
2.1	Закон Фурье. Коэффициент теплопро- водности	1		4	1, 2, 3, 5, 12, 13, 14
2.2	Теплопроводность плоской и цилинд- рической стенок при граничных усло- виях I рода	1		4	1, 2, 3, 5, 12, 13, 14
2.3	Теплопроводность плоской и цилинд- рической стенок при граничных усло- виях III рода. Теплопередача	1	1	4	1, 2, 3, 5, 12, 13, 14
2.4	Нестационарная теплопроводность. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности			4	1, 2, 3, 5, 13, 14
2.5	Конвективный теплообмен. Уравнение энергии и его анализ. Понятие о дина- мическом и тепловом пограничных слоях. Уравнение теплоотдачи. Коэф- фициент теплоотдачи. Теория подобия. Критерии теплового подобия. Критери- альные уравнения	1		4	1, 2, 3, 5, 13, 14
2.6	Теплоотдача при естественной и вынужденной конвекции. Теплоотдача при кипении и конденсации		1	4	1, 2, 3, 5, 13, 14
2.7	Теплообмен излучением			5	1, 2, 3, 5, 12, 13, 14
2.8	Теплообменные аппараты			6	1, 2, 3, 5, 11, 12, 14
3	Промышленная теплотехника				
3.1	Топливо, основы горения			3	1, 2, 12, 13, 14
3.2	Основы энерготехнологии			2	1, 13, 14
3.3	Основы энергосбережения. Вторичные энергетические ресурсы			4	1, 13, 14

Окончание табл.1

3.4	Возобновляемые источники энергии			3	1, 13, 14
3.5	Промышленные котельные установки			3	1, 9, 10, 12, 13, 14
3.6	Тепловые двигатели			3	1, 13, 14
4	Применение теплоты в сельском хозяйстве				
4.1	Теплоснабжение сельского хозяйства		1	6	1, 2, 7, 8, 12, 13, 15
4.2	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха			4	1, 2, 7, 12, 13, 15
4.3	Сушильные установки			4	1, 2, 12, 13
4.4	Холодильные и криогенные установки			4	1, 2, 12, 13
	ИТОГО	8	6	94	

2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Общие указания по выполнению контрольной работы

Контрольная работы должна выполняться студентом после изучения теоретического курса.

Контрольная работа состоит из 5 задач, задания к каждой их них представлены в 19 вариантах. Студент выбирает в таблицах 1-5 тот вариант задания, который соответствует сумме двух последних цифр его учебного шифра.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- записать условие задачи;
- решение сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором должно быть указано, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу (из условия задачи, из справочника, определена ранее и т.д.);
- вычисления давать в развернутом виде;
- проставлять размерности всех заданных и расчетных величин в международной системе СИ;
- графический материал должен быть выполнен четко в масштабе на миллиметровой бумаге.

После решения задачи должен быть произведен краткий анализ полученных результатов и сделаны соответствующие выводы.

В конце работы дать перечень использованной литературы.

2.2. Задания для контрольной работы

Задача № 1. В процессе изменения состояния 1 кг газа внутренняя энергия его увеличивается на Δu . При этом над газом совершается работа, равная l . Начальная температура газа t_1 , конечное давление p_2 (табл. 2).

Определить для заданного газа показатель политропы n , начальные и конечные параметры, изменение энтропии Δs и изменение энтальпии Δh . Представить процесс в p - v и T - s – диаграммах. Изобразить также (без расчета) изобарный, изохорный, изотермический и адиабатный процессы, проходящие через ту же начальную точку, и дать их сравнительный анализ.

Указание. Материал для выполнения задачи изложен в [1] на стр. 7–24, [13] на стр. 5–31.

При определении теплоемкостей газа в термодинамических процессах принять среднее ее значение, пренебрегая зависимостью теплоемкости от температуры. Считать молярные теплоемкости в заданном политропном

процессе постоянными, зависящими только от числа атомов в молекуле газа.

Так для всех двухатомных газов мольные теплоемкости равны:

- в изохорном процессе $\mu c_v \approx 21$ кДж/(моль·К);
- в изобарном процессе $\mu c_p \approx 29,3$ кДж/(моль·К).

Для всех многоатомных газов мольные теплоемкости равны:

- в изохорном процессе $\mu c_v \approx 29,3$ кДж/(моль·К);
- в изобарном процессе $\mu c_p \approx 37,6$ кДж/(моль·К).

Массовая теплоемкость газа может быть вычислена по формуле:

$$c = \frac{\mu c}{\mu}, \text{ кДж/(кг·К)}, \quad (1)$$

где μ – мольная масса газа, кг.

Теплоемкость газа в любом политропном процессе

$$c = \frac{c_v \cdot (n - k)}{n - 1}, \quad (2)$$

где n – показатель процесса,

k – показатель адиабаты (для двухатомных газов $k = 1,4$; для многоатомных газов $k = 1,3$).

Задача № 2. Определить параметры рабочего тела в характерных точках идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с изохорно-изобарным подводом теплоты (смешанный цикл), если известны давление p_1 и температура t_1 рабочего тела в начале сжатия. Степень сжатия ϵ , степень повышения давления λ , степень предварительного расширения ρ заданы (табл. 3).

Определить работу, получаемую от цикла, его термический КПД и изменение энтропии отдельных процессов цикла. За рабочее тело принять воздух, считая теплоемкость его в расчетном интервале температур постоянной.

Построить этот цикл в координатах $p-v$ и $T-s$. Дать к полученным диаграммам соответствующие пояснения.

Указание. Материал для выполнения задачи изложен в [1] на стр. 25–57, в [13] на стр. 32–43, 75–79.

Задача № 3. Определить потери теплоты за 1 час с 1 м длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы, охлаждаемой свободным потоком воздуха, если известны наружный диаметр d трубы, температура стенки трубы $t_{ст}$ и температура воздуха $t_{в}$ в помещении (табл. 4).

Указание. Материал для выполнения задачи изложен в [1] на стр. 155–168, в [13] на стр. 115–128.

Расчет коэффициента теплоотдачи при свободном движении теплоносителя проводить по критериальному уравнению:

$$\text{Nu} = c(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^m. \quad (3)$$

Задача № 4. Определить площадь поверхности нагрева газоводяного рекуперативного теплообменника, работающего по противоточной схеме. Греющий теплоноситель – дымовые газы с начальной температурой t'_r и конечной t''_r . Расход воды через теплообменник G_b , начальная температура воды t'_b , конечная – t''_b . Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы α_r и от стенки трубы к воде α_b . Теплообменник выполнен из стальных труб с внутренним диаметром $d = 70$ мм. И толщиной стенки $\delta = 2$ мм. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda = 62$ Вт/(м·К). Стенку считать чистой с обеих сторон. Данные для расчетов взять из таблицы 5.

Определить также поверхности теплообмена при выполнении теплообменника по прямоточной схеме и при сохранении остальных параметров неизменными.

Для обеих схем движения теплоносителя (противоточной и прямоточной) показать без расчета графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена. Указать преимущества противоточной схемы.

Указание. Материал по выполнению задачи изложен в [1] на стр. 191–206, в [13] на стр. 141–152.

Задача № 5. Определить количество удаленной влаги W , потребное количество воздуха L и расход теплоты на сушку Q для конвективной зерносушилки производительностью G_1 , если начальное значение относительной влажности зерна w_1 и конечное w_2 , влагосодержание d_1 и температура воздуха t_1 на входе в сушилку, влагосодержание d_2 и температура воздуха t_2 на выходе в сушилки, температура наружного воздуха $t_0 = 15^\circ\text{C}$ (табл. 6).

Изобразить процесс сушки в H - d диаграмме влажного воздуха.

Указание. Материал по выполнению задачи изложен в [1] на стр. 414–452, в [13] на стр. 340–367.

3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Таблица 2. Данные для задачи № 1

Сумма двух последних цифр шифра	Δu , кДж/кг	l , кДж/кг	t_1 , °С	p_2 , МПа	Вид газа
0	-142	223	1828	0,15	N ₂
1	-147	219	1851	0,14	CO
2	-145	225	1852	0,14	CO ₂
3	-151	232	1917	0,13	O ₂
4	-155	236	1952	0,12	CH ₄
5	-154	235	1954	0,12	H ₂ O
6	-161	243	2011	0,11	Воздух
7	-165	245	2054	0,11	NH ₃
8	-165	247	2051	0,1	H ₂
9	-170	250	2112	0,1	H ₂
10	144	-192	15	2,2	O ₂
11	145	-206	16,7	2,3	NH ₃
12	144	-211	18,5	2,4	Воздух
13	149	-216	20	2,5	H ₂ O
14	154	-221	22,5	2,6	CH ₄
15	153	-224	24	2,7	O ₂
16	162	-233	26,5	2,8	CO ₂
17	173	-234	28,5	2,9	CO
18	178	-242	30	3,0	N ₂

Таблица 3. Данные для задачи № 2

Сумма двух последних цифр шифра	p_1 , МПа	t_1 , °С	ε	λ	ρ
0	0,1	10	11	1,8	1,5
1	0,1	11	11	1,8	1,6
2	0,1	12	12	1,8	1,7
3	0,1	13	12	1,9	1,5
4	0,1	14	14	1,9	1,6
5	0,1	15	15	1,9	1,7
6	0,1	16	16	2,0	1,5
7	0,1	17	16	2,0	1,6
8	0,1	18	17	2,0	1,7
9	0,1	19	17	1,8	1,5
10	0,1	20	18	1,8	1,6
11	0,1	21	18	1,8	1,7
12	0,1	22	19	1,9	1,5
13	0,1	23	19	1,9	1,6
14	0,1	24	20	1,9	1,7
15	0,1	25	20	2,0	1,5
16	0,1	25	21	2,0	1,6
17	0,1	26	22	2,0	1,7
18	0,1	27	22	1,8	1,5

Таблица 4. Данные для задачи № 3

Сумма двух последних цифр шифра	D , мм	$t_{ст}$, °C	$t_{в}$, °C
0	90	42	-8
1	95	47	-7
2	100	51	-6
3	105	56	-5
4	110	61	-4
5	115	56	-3
6	120	52	-2
7	125	47	-1
8	130	42	0
9	135	48	1
10	140	53	2
11	135	58	3
12	130	61	4
13	125	56	5
14	120	53	6
15	115	44	7
16	110	41	8
17	105	47	9
18	100	52	10

Таблица 5. Данные для задачи № 4

Сумма двух последних цифр шифра	$\alpha_{г}$, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{в}$, Вт/(м ² ·К)	$G_{в}$, кг/ч	$t'_{в}$, °C	$t''_{в}$, °C	$t'_{г}$, °C	$t''_{г}$, °C
0	36	612	1505	5	112	600	400
1	33	607	1614	5	113	610	420
2	31	614	1652	6	114	620	440
3	34	623	1717	6	115	630	460
4	37	631	1753	7	116	640	480
5	41	637	1804	8	117	650	480
6	43	639	1853	8	118	660	485
7	45	645	1918	9	119	670	490
8	46	650	1949	10	120	680	495
9	47	662	2032	10	121	690	500
10	48	673	2054	10	122	700	505
11	45	678	2104	11	123	710	510
12	47	682	2148	12	124	720	515
13	52	683	2211	12	125	730	520
14	53	692	2236	13	126	740	520
15	51	694	2306	14	127	750	540
16	57	704	2358	14	128	760	560
17	59	706	2404	15	129	770	580
18	62	721	2505	15	130	780	600

Таблица 6. Данные для задачи № 5

Сумма двух по- следних цифр шифра	G_1 , кг/ч	d_1 , кг/(кг с.в)	t_1 , °С	d_2 , кг/(кг с.в)	t_2 , °С	w_1 , %	w_2 , %
0	105	0,021	102	0,033	50	30	20
1	1010	0,022	107	0,034	50	31	21
2	154	0,023	111	0,035	55	32	22
3	953	0,024	116	0,033	55	33	23
4	207	0,025	122	0,034	60	34	24
5	904	0,021	127	0,035	60	35	25
6	253	0,022	132	0,033	65	30	20
7	852	0,023	138	0,034	65	31	21
8	307	0,024	143	0,035	70	32	22
9	802	0,025	146	0,033	70	33	23
10	354	0,021	151	0,034	75	34	24
11	751	0,022	147	0,035	70	35	25
12	404	0,023	143	0,033	70	30	20
13	707	0,024	136	0,034	65	31	21
14	456	0,025	132	0,035	65	32	22
15	656	0,022	127	0,033	60	33	23
16	504	0,023	121	0,034	60	34	24
17	607	0,024	117	0,035	55	35	25
18	551	0,025	104	0,033	50	30	20

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудобашта С.П. Теплотехника: учеб. для вузов / С.П. Рудобашта. – М.: Колос, 2010. – 599 с.
2. Амерханов Р.А. Теплотехника: учеб. для вузов / Р.А. Амерханов, Б.Х. Драганов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 432 с.
3. Нечаев В.В. Теплогенерирующие установки: учеб. пособие для высш. аграр. учеб. заведений: допущено М-вом сел. хоз-ва РФ/ В.В. Нечаев, В.А. Бочкарев; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2010. – 102 с.
4. Нечаев В.В. Основы термодинамики и теплопередачи: учеб. пособие / В.В. Нечаев, А.А. Тупицын, И.В. Алтухов. – Иркутск: ИрГСХА, 2002. – 139 с.
5. Нечаев В.В. Теплопроводность: учебное пособие / В.В. Нечаев, А.А. Тупицын. – Иркутск: ИрГСХА, 2004. – 103 с.
6. Таиров Э.А. Практикум по технической термодинамике: учеб. пособие / Э.А. Таиров, В.В. Нечаев. – Иркутск: ИрГСХА, 2007. – 108 с.
7. Кошелев А.А. Определение расчетной нагрузки и годового отпуска тепла коммунально-бытовым и технологическим потребителям. Гидравлический и тепловой расчет водяных тепловых сетей: метод. пособие для выполнения курс. и диплом. проектов / А.А. Кошелев; Иркут. гос. с.-х. акад., Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН. – Иркутск: ИрГСХА, 2007. – 62 с.
8. Теплотехника: метод. указ. к курсовой работе / Иркут. гос. с.-х. акад.; авт.-сост.: И. В. Алтухов, Г. В. Лукина. – Иркутск: ИрГСХА, 2010. – 70 с.
9. Нечаев, В.В. Котельные агрегаты. Классификация и обозначения: метод. пособие для студентов высших аграрных учеб. заведений / В.В. Нечаев, В.А. Бочкарев; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск: ИрГСХА, 2011. – 42 с.
10. Нечаев, В.В. Оценка экологического воздействия теплоэнергетических предприятий на окружающую среду: метод. пособие для студентов высш. аграр. учеб. заведений / В. В. Нечаев, В. А. Бочкарев; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013. – 50 с.
11. Таиров, Э.А. Тепломассообменное оборудование предприятий: практикум / Э. А. Таиров, В. Д. Очиров; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013. – 122 с.
12. Круглов Г.А. Теплотехника [Текст]: учеб. пособие для вузов: рек. УМО / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. – СПб.: Лань, 2010. – 207 с.
13. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве: учебник / Б.Х. Драганов, А.А. Кузнецов, С.П. Рудобашта. – М.: Агропромиздат, 1990. – 463 с.
14. Теплотехника: учебник для вузов / Под ред. Баскакова А.П. – 2-е изд. перераб. – М.: Энергоатомиздат., 1991. – 224 с.
15. Рудобашта С.П. Тепло- и водоснабжение сельского хозяйства / Под ред. С.П. Рудобашты и [др.]. М.: Колос, 1997. – 508 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
1.1. Содержание дисциплины «Теплотехника».....	4
2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ.....	6
2.1. Общие указания по выполнению контрольной работы.....	6
2.2. Задания для контрольной работы.....	7
3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	9
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	14

Нечаев Валерий Владимирович

ТЕПЛОТЕХНИКА

*Методические указания и контрольные задания
по дисциплине «Теплотехника»*

*для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки
35.03.06 Агроинженерия (квалификация «бакалавр»)*

*Профили «Технические системы в агробизнесе», «Технический сервис в
агроинженерном комплексе», «Оборудование для хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции»*

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 7.02.2014. Формат 60×86/16. Печ. л. 1,0

Тираж 100 экз.

Издательство Иркутского государственного
университета им. А. А. Ежовского
664038, Иркутская обл., Иркутский район
пос. Молодежный