

В.В. Селин, Е.А. Беркова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Методические указания и индивидуальные задания
для самостоятельной работы студентов специальностей
140101.65 (Тепловые электрические станции),
180403.65 (Эксплуатация судовых энергетических установок) и
270109.65 (Теплогазоснабжение и вентиляция)

Калининград
Издательство КГТУ

2007

УДК 621.1.016

УТВЕРЖДЕНО

Ректором Калининградского
государственного технического
университета

АВТОРЫ – Селин В.В., к.т.н., профессор кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики Калининградского государственного технического университета; Беркова Е.А., ассистент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики Калининградского государственного технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой судовых энергетических установок и теплоэнергетики Калининградского государственного технического университета 1 февраля 2007 года, протокол № 3.

Методические указания рекомендованы к печати секцией теплоэнергетики методической комиссии факультета судостроения и энергетики Калининградского государственного технического университета 6 марта 2007 года, протокол № 26.

РЕЦЕНЗЕНТ – кафедра судовых энергетических установок и теплоэнергетики Калининградского государственного технического университета

© Калининградский государственный технический университет, 2007 г.

ВВЕДЕНИЕ

Индивидуальные задания, предлагаемые в настоящем пособии, предназначены для выполнения на практических аудиторных занятиях и для самостоятельной работы студентов ряда специальностей под контролем преподавателя.

Объём заданий рассчитан на программу дисциплины «Теоретические основы теплотехники» для специальности 140101.65 (тепловые электрические станции), а также программы дисциплин «Теплотехника» для специальности 180403.65 (эксплуатация судовых энергетических установок) и двух теплотехнических дисциплин для специальности 270109.65 (теплогазоснабжение и вентиляция). Кроме того, предлагаемые задания могут быть использованы студентами ряда других специальностей университета, в учебном плане которых присутствуют дисциплины «Теплотехника» и «Теплофизика»: 150207.65 (реновация средств и объектов материального производства); 151001.65 (технология машиностроения); 180101.65 (кораблестроение); 260601.65 (машины и аппараты пищевых производств); 260302.65 (технология рыбы и рыбных продуктов); 260501.65 (технология продуктов общественного питания); 260602.65 (пищевая инженерия малых предприятий); 240902.65 (пищевая биотехнология); 280102.65 (безопасность технологических процессов и производств).

При выполнении заданий студент должен иметь: индивидуальное счётное устройство; учебник или конспект лекций; таблицы средних теплоёмкостей газов; таблицы теплофизических свойств газов; таблицы термодинамических свойств воды и пара; h - s диаграмму для воды и пара. Таблицы средних теплоёмкостей и теплофизических свойств газов имеются в ряде рекомендованных студентам задачников и учебников по изучаемому курсу /1,2,4,5/.

Перечень разделов курса, представленных в заданиях, соответствует рабочим программам всех теплотехнических дисциплин. Решение задач должно быть организовано после изучения соответствующих тем лекций или самостоятельно.

Каждый студент на протяжении всего периода обучения выполняет свой индивидуальный вариант задания (всего вариантов – тридцать). Ряд задач по

термодинамике (7, 39, 40, 41) выполняется в одном общем варианте.

Отсутствие студента на занятиях не освобождает его от выполнения соответствующих задач по темам индивидуального задания. Для допуска к экзамену и для получения зачёта студент должен предъявить преподавателю полный комплект решённых задач по своему варианту задания.

1. ЗАДАЧИ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

1.1. Параметры состояния

Задача 1.

В сосуде объемом $V \text{ м}^3$ находится $m \text{ кг}$ воздуха. Определить его удельный объём v и плотность ρ .

Задача 2.

Избыточное давление в паровом котле измеряется пружинным манометром и составляет $p_{\text{н}}$ кПа. Барометрическое давление по ртутному барометру составляет $p_{\text{бар}}$ мм рт. ст. при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить абсолютное давление пара в котле p в кПа, Па, МПа, барах.

Задача 3.

Избыточное давление в сосуде, измеряемое пружинным манометром $p_{\text{н}}$ МПа. Атмосферное давление по ртутному барометру при $t \text{ }^\circ\text{C}$ составляет $p_{\text{бар}}$ мм рт. ст. Определить абсолютное давление в сосуде в МПа, Па, барах.

Задача 4.

Ртутный вакуумметр, присоединенный к конденсатору паровой турбины, показывает разрежение $p_{\text{в}}$ мм рт. ст. при температуре $t_1 \text{ }^\circ\text{C}$. Атмосферное давление по ртутному барометру $p_{\text{бар}}$ мм рт. ст. при $t_2 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить абсолютное давление p в конденсаторе в мм рт. ст., Па, барах.

1.2. Закон сохранения энергии

Задача 5.

Сколько килограммов свинца $m_{\text{с}}$ можно нагреть от температуры $t_1 \text{ }^\circ\text{C}$ до

температуры плавления $t_2 = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ посредством удара молотом массой m_m кг при падении его с высоты h_m м? Предполагается, что вся энергия падения молота превращается в теплоту, которая поглощается свинцом. Теплоемкость свинца $c_p = 0,1256 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Задача 6.

Современная паротурбинная электростанция мощностью N МВт работает в году τ суток с КПД η . Теплота сгорания топлива $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ кДж/кг. Определить суточный $V_{\text{сут}}$ и годовой $V_{\text{г}}$ расходы топлива.

Задача 7.

Определить годовой расход ядерного горючего на АЭС той же мощности, что и в предыдущей задаче, если 1 кг урана при расщеплении выделяет $(Q_{\text{н}}^{\text{р}})^{\text{я}} = 825 \cdot 10^8 \text{ кДж}/\text{кг}$ теплоты.

Задача 8.

При испытании двигателей для определения мощности необходимо их тормозить гидротормозом. При этом работа, произведенная двигателем, расходуется на преодоление сил трения и превращается в теплоту, часть которой (примерно 20 %) рассеивается в окружающей среде, а остальная часть отводится с охлаждающей тормоз водой.

Сколько воды необходимо подводить к тормозу G_e за 1 час, если крутящий момент на валу $M_{\text{кр}}$ Дж, частота вращения n об/мин, а допустимое повышение температуры воды ΔT К. Теплоемкость воды $c_p = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

1.3. Идеальный газ и его свойства

Задача 9.

Определить среднюю теплоемкость газа c_x в интервале температур t_1 $^\circ\text{C}$ и t_2 $^\circ\text{C}$, пользуясь таблицами средних теплоемкостей.

Задача 10.

Определить теплоту, подведенную к газу при $p = \text{const}$, если его температура изменяется от t_1 $^\circ\text{C}$ до t_2 $^\circ\text{C}$.

а) Масса газа m кг.

б) Объем газа при температуре t_1 равен V_1 м³.

1.4. Термодинамические процессы для идеального газа

Задача 11.

Газовая смесь состоит из m_{N_2} кг, азота, m_{CO_2} кг углекислого газа и m_{CO} кг окиси углерода. Начальные параметры смеси p_1 МПа и t_1 °С. В процессе $T = \text{const}$ смесь расширяется до давления p_2 МПа. Определить работу расширения смеси L , количество подведенной теплоты Q , объем в конце расширения V_2 и парциальные давления газов в начальном состоянии. Определить также изменение внутренней энергии ΔU и энтальпии ΔH смеси. Построить процесс в p - v и T - s диаграммах.

Задача 12.

Сосуд вместимостью V_1 л содержит газ при абсолютном давлении $p_1 = 1$ МПа и температуре t_1 °С. Определить массу газа, конечную температуру, изменение энтропии и количество теплоты, которое необходимо подвести, чтобы повысить давление в процессе при постоянном объеме до $p_2 = 2$ МПа. Определить также изменение внутренней энергии и энтальпии газа. Удельную теплоемкость принять переменной. Построить процесс в p - v и T - s диаграммах.

Задача 13.

В цилиндре двигателя объемом V_1 л находится газ со свойствами воздуха при абсолютном давлении p_1 МПа и температуре $t_1 = 1500$ °С. От воздуха отводится теплота при постоянном давлении до температуры t_2 °С. Определить массу воздуха, конечный объем, изменение внутренней энергии, количество отнятой теплоты, изменение энтальпии, работу сжатия и изменение энтропии. Теплоемкость считать переменной. Построить процесс в p - v и T - s диаграммах.

Задача 14.

В компрессор ГТУ входит m кг воздуха с начальными параметрами p_1 МПа и $t_1 = 27$ °С. Воздух сжимается адиабатно до p_2 МПа. Определить начальный и конечный объемы, конечную температуру, работу сжатия, располагаемую работу сжатия, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтро-

пии. Теплоемкость принять постоянной. Построить процесс в $p-v$ и $T-s$ диаграммах.

Задача 15.

Определить теоретическую работу на привод одноступенчатого и z -ступенчатого с промежуточным охлаждением компрессоров при сжатии воздуха от давления p_1 МПа до p_2 МПа, если начальная температура t_1 °С. Показатель политропы для всех ступеней принять равным n . Начальный объем газа $V_1 = 1000 \text{ м}^3$. Сравнить величину работы одно- и z -ступенчатого сжатия. Определить температуры в конце сжатия. Построить процесс в $p-v$ и $T-s$ диаграммах.

1.5. Второй закон термодинамики

Задача 16.

В воздухонагревателе парового котла воздух нагревается до температуры t_1 °С, а дымовые газы охлаждаются от температуры $t_3 = 450$ °С до t_4 °С. Тепловые потери воздухонагревателя составляют 20 % от количества теплоты, отдаваемой газами. Теплоемкости воздуха и газов постоянны. Дымовые газы обладают свойствами воздуха. Определить температуру t_2 °С, до которой нагревается воздух и потерю работоспособности системы вследствие необратимого теплообмена Δl_c . Температуру окружающей среды $t_0 = 17$ °С.

Задача 17.

Определить эксергию потока воздуха с массовым расходом $G = 1$ кг/с, если его начальные параметры p_1 МПа и t_1 °С. Параметры окружающей среды: $p_0 = 0,1$ МПа, $t_0 = 27$ °С. Построить процесс в $T-s$ диаграмме.

Задача 18.

Определить эксергетический КПД котельной установки, если известно, что температура сгорания в топке равна $t_1 = 1827$ °С, а теплотворная способность мазута $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 42000$ кДж/кг. В котельной установке вырабатывается пар с температурой t_2 °С. Потери теплоты в окружающую среду составляют $(1-\eta)$ % от теплоты сгорания топлива. Параметры окружающей среды: $t_0 = 27$ °С; $p_0 = 0,1$ МПа.

1.6. Реальные газы и пары

Задача 19.

Пользуясь таблицами для воды и пара определить:

19.1. Все параметры кипящей воды и сухого насыщенного пара при температуре t_n °С;

19.2. Все параметры кипящей воды и сухого насыщенного пара при давлении p_n МПа;

19.3. Удельный объем, энтальпию, энтропию и внутреннюю энергию перегретого пара при температуре t °С и давлении p МПа.

Задача 20.

Состояние воды определяется параметрами:

20.1. p МПа; $t = 300$ °С;

20.2. p МПа; $v = 0,015$ м³/кг;

20.3. t °С; $v = 0,00105$ м³/кг;

20.4. p МПа; $t = 350$ °С.

Каковы качественно эти состояния (жидкость, кипящая жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар)?

Задача 21.

Состояние водяного пара характеризуется давлением p МПа и влажностью y . Найти температуру, удельный объем, энтропию, энтальпию и внутреннюю энергию пара.

Задача 22.

Пользуясь $h-s$ диаграммой определить параметры состояния водяного пара, если:

22.1. t °С; $v = 2,5$ м³/кг;

22.2. p МПа; $t = 300$ °С;

22.3. t °С; $x = 0,95$;

22.4. p МПа; $x = 1,0$.

Задача 23.

Определить теплоту, необходимую для перегрева пара в пароперегрева-

теле котла до температуры t °С при постоянном давлении p МПа. Построить процесс в $h-s$ диаграмме.

Задача 24.

В пароперегреватель парового котла поступает влажный пар со степенью сухости x_1 , где происходит его перегрев при постоянном давлении p_1 МПа до температуры t °С. Затем пар адиабатно расширяется без потерь в турбине до давления $p_2 = 0,003$ МПа. Построить процесс в $h-s$ диаграмме, определить все параметры пара до и после расширения, а также теплоту, подведенную к пару, и располагаемую работу адиабатного расширения.

1.7. Термодинамика потока

Задача 25.

Воздух с начальными параметрами p_1 МПа и t_1 °С вытекает через сопло в атмосферу ($p_2 = 0,1$ МПа). Определить тип сопла, скорость и параметры воздуха на выходе из сопла, а также площадь выходного сечения, если расход воздуха G кг/с. Потерями, теплообменном со стенками и скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять $k = 1,4$.

Задача 26.

Определить длину расширяющейся части сопла Лавалья, через которое происходит истечение воздуха с начальными параметрами p_1 МПа и t_1 °С в количестве G кг/с в среду с атмосферным давлением $p_2 = 0,1$ МПа. Угол конусности принять равным $\alpha = 10^\circ$, коэффициент скорости сопла $\varphi = 0,95$. Скоростью на входе в сопло пренебречь.

Задача 27.

Как велика скорость истечения перегретого пара через сопло Лавалья, если начальные параметры его p_1 МПа и t_1 °С, а конечное давление p_2 МПа, коэффициент скорости $\varphi = 0,95$. Чему была бы равна эта скорость, если бы сопло было суживающимся? Теплообменном со стенками и скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять $\beta_k = 0,546$. Построить процесс в $h-s$ диаграмме.

Задача 28.

Перегретый пар на входе в сопло имеет параметры p_1 МПа и t_1 °С. Давление пара за соплом p_2 МПа. Истечение происходит без теплообмена с окружающей средой, коэффициент скорости сопла $\varphi = 0,95$. Определить тип сопла, состояние пара за соплом, действительную скорость истечения и площадь выходного сечения сопла, если расход пара через сопло $G = 0,5$ кг/с. Критическое отношение давлений принять равным $\beta_k = 0,546$. Скоростью пара на входе в сопло пренебречь.

Задача 29.

В клапанах турбины перегретый пар с параметрами p_1 МПа и t_1 °С дросселируется до давления p_2 МПа, а затем адиабатно расширяется до $p_3 = 0,004$ МПа. Определить потерю теоретической мощности турбины вследствие дросселирования, если расход пара $G = 10$ кг/с. Построить процесс в h - s диаграмме.

1.8. Влажный воздух

Задача 30.

В сушильной установке производится подсушка материала с помощью воздуха при атмосферном давлении. От начального состояния с температурой t_1 °С и относительной влажностью φ_1 % воздух предварительно подогревается до температуры t_2 °С и далее направляется в сушильную камеру, где в процессе высушивания материала воздух охлаждается до $t_3 = 35$ °С.

Рассчитать необходимое количество теплоты q для нагревания 1 кг воздуха, параметры воздуха на выходе из сушильной камеры и количество воды, которое отбирает каждый килограмм воздуха от материала. Считать, что тепловые потери отсутствуют. Определить также, какое максимальное количество воды мог бы унести с собой 1 кг воздуха, если бы он направлялся в сушильную камеру без предварительного подогрева.

1.9. Циклы теплосиловых установок

Задача 31.

Для идеального цикла поршневого ДВС с комбинированным подводом теплоты определить параметры рабочего тела в узловых точках, термический КПД, количество подведённой и отведённой теплоты, полезную работу и степень заполнения цикла, если начальные параметры рабочего тела $p_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 25$ °С, степень адиабатного сжатия ε , степень повышения давления по изохоре λ и степень предварительного расширения ρ . Рабочее тело – воздух ($k = 1,4$).

Задача 32.

Сравнить термический КПД циклов Ренкина, осуществленных при одинаковых начальных и конечных давлениях p_1 МПа и p_2 МПа, если в одном случае пар влажный со степенью сухости $x = 0,9$, в другом – пар сухой насыщенный, в третьем – перегретый с температурой t_1 °С. Построить процессы расширения пара в турбине в $h-s$ диаграмме.

Задача 33.

Сравнить термический КПД двух паросиловых установок, работающих на паре с параметрами p_1 МПа и t_1 °С, если у одной из них турбина работает на выхлоп в атмосферу ($p_2 = 0,1$ МПа) и котел питается водой из внешнего источника с температурой $t_{пв} = 30$ °С, а у другой имеется конденсатор с абсолютным давлением $p_2 = 0,004$ МПа, а котел питается конденсатом отработавшего пара. Построить процессы в $h-s$ диаграмме.

Задача 34.

Паротурбинная установка мощностью $N = 200$ МВт работает на паре следующих параметров: начальное давление p_1 МПа, температура t_1 °С. Промежуточный перегрев осуществляется при давлении $p_{пе}$ МПа до первоначальной температуры $t_{пе} = t_1$. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,004$ МПа. Температура питательной воды $t_{пв}$ °С.

Определить часовой расход топлива B кг/ч, если его теплота сгорания $Q_{н}^p = 30$ МДж/кг, а КПД парогенератора $\eta_{пг} = 0,91$. Прочими потерями прене-

бречь. Работу насоса учесть.

Задача 35.

Турбина мощностью $N = 24$ МВт работает при параметрах пара: p_1 МПа, t_1 °С и $p_2 = 0,004$ МПа. Для подогрева питательной воды из турбины отбирается пар при $p_{отб}$ МПа.

Определить термический КПД регенеративного цикла и удельный расход пара на 1 кВт·ч выработанной энергии. Сравнить эти показатели с такими же показателями для цикла без регенерации. Вычислить величину экономии от введения регенеративного подогрева.

Задача 36.

На ТЭЦ установлена теплофикационная турбина мощностью $N = 12$ МВт, в которой работает пар с начальными параметрами p_1 МПа, t_1 °С, противодавление $p_2 = 0,2$ МПа. Отработанный пар отправляется на производство и полностью возвращается на ТЭЦ в виде конденсата при температуре насыщения.

Определить часовой расход топлива B кг/ч, если КПД парогенератора $\eta_{пг} = 0,90$, теплота сгорания топлива $Q_{п}^p = 29,3$ МДж/кг. Каков был бы суммарный часовой расход топлива, если бы выработка энергии производилась отдельно: электроэнергии – в конденсационной установке с давлением пара в конденсаторе $p_2 = 0,004$ МПа и теплоты – в отопительной котельной. КПД всех парогенераторов и котлов $\eta_{пг} = 0,90$.

1.10. Циклы холодильных установок

Задача 37.

В воздушной холодильной установке поступающий из холодильной камеры (рефрижератора) в компрессор воздух имеет температуру t_3 °С при давлении $p_2 = 0,1$ МПа. В компрессоре воздух адиабатно сжимается до давления p_1 МПа, а затем при постоянном давлении охлаждается в охладителе до температуры t_1 °С. После охладителя воздух поступает в детандер, где адиабатно расширяется до давления p_2 , после чего снова направляется в холодильную камеру, где отбирает теплоту q_2 от охлаждаемого вещества и нагревается до тем-

пературы t_3 . Определить температуру воздуха за компрессором t_4 ; температуру воздуха, поступающего в холодильную камеру t_2 ; теоретическую удельную работу, затраченную на осуществление цикла; теоретическую удельную холодопроизводительность; теоретический холодильный коэффициент цикла; холодильный коэффициент цикла Карно в том же интервале температур. Определить также расход холодильного агента и теоретическую мощность, необходимую для привода компрессора, если холодопроизводительность установки должна составлять $Q = 200$ кВт. Теплоемкость воздуха считать постоянной и равной $c_p = 1,012$ кДж/(кг·К), $k = 1,4$.

Задача 38.

Компрессор холодильной установки всасывает пар фреона-12 при t_3 °С и степени сухости x_1 и изэнтропийно сжимает его до давления, при котором степень сухости $x_2 = 1$.

Из компрессора фреон-12 поступает в конденсатор, где охлаждается водой с температурой на входе $t_{1в}$ °С, а на выходе $t_{2в} = 20$ °С.

В дроссельном вентиле жидкий фреон-12 дросселируется до состояния влажного насыщенного пара, после чего направляется в испаритель, из которого выходит со степенью сухости x_1 . Теплота, необходимая для испарения фреона-12, подводится из охлаждаемой камеры.

Определить теоретическую мощность двигателя холодильной установки, часовой расход фреона-12 и охлаждающей воды, если холодопроизводительность установки $Q = 60$ кВт.

1.11. Элементы химической термодинамики

Задача 39.

Определить стандартную теплоту образования одного киломоля метана $(\Delta H_{298}^0)_{\text{CH}_4}^{\text{обр}}$, если известны следующие стандартные теплоты:

а) сгорания метана $(\Delta H_{298}^0)_{\text{CH}_4}^{\text{гор}} = -890943$ кДж/кмоль;

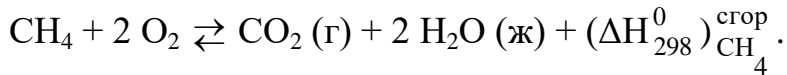
б) образования жидкой H_2O

$$(\Delta H_{298}^0)^{\text{обр}}_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})} = -286030 \text{ кДж/кмоль};$$

в) образования газообразной углекислоты

$$(\Delta H_{298}^0)^{\text{обр}}_{\text{CO}_2(\text{г})} = -393777 \text{ кДж/кмоль}.$$

Уравнение реакции сгорания метана:



Задача 40.

Определить теплоту реакции сгорания этилена $(\Delta H_{298}^0)^{\text{сгор}}_{\text{C}_2\text{H}_4}$, если заданы

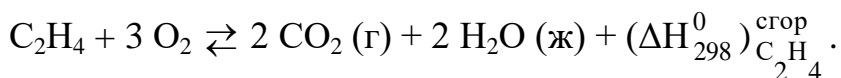
теплоты образования реагентов в кДж/кмоль:

$$(\Delta H_{298}^0)^{\text{обр}}_{\text{C}_2\text{H}_4} = 52327 \text{ кДж/кмоль};$$

$$(\Delta H_{298}^0)^{\text{обр}}_{\text{CO}_2(\text{г})} = -393777 \text{ кДж/кмоль};$$

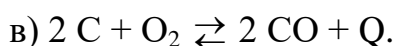
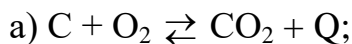
$$(\Delta H_{298}^0)^{\text{обр}}_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})} = -286030 \text{ кДж/кмоль}.$$

Уравнение реакции горения этилена:



Задача 41.

Как различаются между собой тепловые эффекты реакций Q_v и Q_p для следующих реакций?



2. ЗАДАЧИ ПО ТЕОРИИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА

2.1. Теплопроводность

Задача 1.

Плоскую поверхность с температурой t_1 °С необходимо изолировать, чтобы потеря теплоты не превышала q Вт/м² при температуре внешней поверхности изоляции $t_2 = 50$ °С. Определить толщину изоляционного слоя δ из соеволита, коэффициент теплопроводности которого зависит от температуры и равен $\lambda = 0,09 + 0,000087 \cdot t$ Вт/(м·К). Изменение температуры в слое изоляции показать на графике.

Задача 2.

Определить термическое сопротивление R обмуровки топочной камеры, состоящей из слоев шамотного и красного кирпича, между которыми имеется засыпка из диатомита. Толщина шамотного слоя δ_1 мм, диатомитовой засыпки δ_2 мм и красного кирпича δ_3 мм. Коэффициенты теплопроводности материалов соответственно равны: $\lambda_1 = 0,93$; $\lambda_2 = 0,13$; $\lambda_3 = 0,7$ Вт/(м·К). Какой толщины следует сделать слой красного кирпича δ_3' , если отказаться от применения засыпки из диатомита, чтобы тепловые потери через обмуровку остались неизменными?

Задача 3.

Паропровод диаметром $d_2/d_1 = 170/160$ мм покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя δ_2 мм и второго δ_3 мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны: $\lambda_1 = 50$; $\lambda_2 = 0,15$ и $\lambda_3 = 0,1$ Вт/(м·К). Температура внутренней поверхности паропровода t_1 °С и внешней поверхности изоляции $t_4 = 50$ °С. Определить тепловые потери с 1 м длины паропровода и температуры t_2 и t_3 на стыке отдельных слоев. Температурное поле представить графически.

Задача 4.

Плоская стальная стенка толщиной $\delta_2 = 20$ мм с одной стороны покрыта слоем сажи толщиной $\delta_1 = 1$ мм, а с другой стороны слоем накипи толщиной

$\delta_3 = 3$ мм. Коэффициенты теплопроводности равны: для сажи $\lambda_1 = 0,08$ Вт/(м·К); для стали $\lambda_2 = 50$ Вт/(м·К); для накипи $\lambda_3 = 2,3$ Вт/(м·К). Температура наружной поверхности сажи t_1 °С, а температура наружной поверхности накипи t_4 °С. Определить поверхностную плотность теплового потока через стенку и температуры t_2 и t_3 на поверхностях соприкосновения сажи и накипи с металлом. Определить во сколько раз увеличится поверхностная плотность теплового потока через стенку, если удалить сажу и накипь. Температурное поле в обоих случаях представить графически.

2.2. Конвективный теплообмен

Задача 5.

Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи α и количество передаваемой теплоты Q при течении теплоносителя в горизонтальной трубе диаметром d мм и длиной l м, если средняя скорость течения \bar{W} м/с, средняя температура теплоносителя $\bar{t}_ж$ °С, средняя температура стенки \bar{t}_c °С.

Задача 6.

Определить средний коэффициент теплоотдачи от воздуха для n -рядного пучка труб диаметром d мм. Средняя температура воздуха $\bar{t}_ж$ °С, средняя скорость в самом узком сечении пучка \bar{W} м/с, угол атаки φ° .

Задача 7.

Определить потерю теплоты путем свободной конвекции от трубы диаметром d мм и длиной l м к воздуху, если средняя температура поверхности трубы \bar{t}_c °С, а средняя температура воздуха $\bar{t}_ж$ °С.

Задача 8.

Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и потери теплоты при свободной конвекции в плоской воздушной или водяной прослойке (щели) с поперечным размером δ мм, расположенной между нагретой и холодной поверхностями с температурами \bar{t}_{c1} °С и \bar{t}_{c2} °С.

Задача 9.

Вычислить средний коэффициент теплоотдачи при кипении воды и количество пара, получаемое в испарителе за 1 час, если общая поверхность испарения составляет F м², средняя температура стенки испарителя \bar{t}_c °С, давление пара p МПа.

Задача 10.

Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе (горизонтальной или вертикальной) конденсатора и количество конденсата, образующегося за 1 час, если труба имеет наружный диаметр d мм, длину (высоту) l м и среднюю температуру поверхности \bar{t}_c °С. На поверхности трубы конденсируется сухой насыщенный пар при давлении p МПа.

2.3. Теплообмен излучением

Задача 11.

Обмуровка топочной камеры парового котла выполнена из шамотного кирпича, а внешняя облицовка из листовой стали. Расстояние между обшивкой и кирпичной кладкой мало по сравнению с размерами стенок топки. Вычислить потери теплоты в окружающую среду с единицы поверхности за счет лучистого теплообмена между поверхностями обмуровки и обшивки, если температура внешней поверхности обмуровки t_1 °С, а температура стальной обшивки t_2 °С. Степень черноты шамота $\varepsilon_1 = 0,8$, а листовой стали $\varepsilon_2 = 0,6$.

Задача 12.

Между двумя поверхностями с температурами T_1 К и T_2 К установлен экран. Материалы поверхностей и экрана одинаковы: $c_1 = c_2 = c_3$ Вт/(м²·К⁴). Определить лучистый поток между этими поверхностями через экран и температуру экрана. Как изменится лучистый поток, если экран убрать?

Задача 13.

Вычислить степень черноты продуктов сгорания при общем давлении в топке $p = 0,1$ МПа и температуре t °С, если парциальное давление водяных па-

ров $p_{\text{H}_2\text{O}}$ МПа, парциальное давление углекислоты p_{CO_2} МПа. Объем топки V м³, общая площадь поверхности ее стен F м².

2.4. Теплопередача и теплообменные аппараты

Задача 14.

В воде-водяном теплообменнике охлаждается пресная вода из системы охлаждения ДВС от t_1' °С до t_1'' °С. Для охлаждения используется заборная вода с температурой t_2' °С. Расход пресной воды G_1 кг/с, расход заборной воды G_2 кг/с, коэффициент теплопередачи $k = 800$ Вт/(м²·К). Определить площадь поверхности теплообмена при прямотоке и противотоке при условии, что теплоемкость пресной воды $c_{p1} = 4,19$ кДж/(кг·К), заборной воды $c_{p2} = 3,85$ кДж/(кг·К).

Задача 15.

В трубчатом подогревателе судовой адиабатной опреснительной установки подогревается заборная вода от t_2' °С до $t_2'' = 90$ °С; расход воды G_2 кг/с, а ее средняя теплоемкость $c_{p2} = 3,9$ кДж/(кг·К). Подогрев происходит за счет конденсации сухого насыщенного пара с давлением p МПа. Средний коэффициент теплопередачи $k = 2800$ Вт/(м²·К). Определить расход конденсирующегося пара и площадь поверхности нагрева подогревателя.

Задача 16.

Для подогрева мазута от температуры t_2' °С до $t_2'' = 95$ °С используется сухой насыщенный пар с давлением p МПа. Пар конденсируется на внешней поверхности трубчатого подогревателя. Определить среднелогарифмический температурный напор. Какую погрешность внесем в расчет, если заменим его среднеарифметическим температурным напором?

3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Таблица 1

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	V	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	m	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
2	$p_H \cdot 10^{-2}$	90	90	96	96	98	98	75	75	75	75
	$p_{\text{бар}}^0$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	760
3	p_H	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	t	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$p_{\text{бар}}^t$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	750
4	$p_B^{t_1}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
	t_1	15	20	25	30	35	40	45	15	20	25
	$p_{\text{бар}}^{t_2}$	755	760	765	770	745	750	755	760	765	770
	t_2	25	30	35	40	45	20	15	20	25	30
5	t_1	5	10	15	20	25	30	35	5	10	15
	m_M	200	250	150	300	200	250	150	300	200	250
	h_M	1	2	3	1	2	3	4	2	1	1
6	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	24	36	48	6	12	24	36	48
	τ	330	330	330	330	330	320	320	320	320	320
	η	0,34	0,36	0,38	0,4	0,42	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
	$Q_H^p \cdot 10^{-3}$	27	26	25	24	28	29	24	25	26	27
8	$M_{\text{кр}}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	$n \cdot 10^{-2}$	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
	Δt	20	25	30	35	40	45	20	25	30	35
9	Газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз дух	O ₂	N ₂	CO
	c_x	c_v	c_v	c_v	c_v	c_v	c_v	c_v	c_p	c_p	c_p
	t_1	150	150	150	150	150	150	150	50	50	50
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	5	6	7	8	11	9	12	4	5	6
10	Газ	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз дух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
	t_1	100	200	300	400	500	600	700	100	200	300
	t_2	350	450	550	650	750	850	950	450	550	650
	m	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	V_1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	m_{N_2}	2	2	3	1	4	5	6	7	8	2
	m_{CO_2}	4	3	1	2	3	4	1	2	1	6
	m_{CO}	4	5	6	7	3	1	3	1	1	2
	p_1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	t_1	7	17	27	37	47	57	67	7	17	27
	p_2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
12	V_1	100	150	250	300	350	400	100	150	250	300
	Газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂
	t_1	27	27	27	27	27	37	37	37	37	37
13	V_1	100	150	200	250	300	350	400	450	100	150
	p_1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	t_2	100	150	250	300	350	400	450	500	600	650
14	m	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	p_1	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12
	p_2	0,5	0,6	0,7	0,4	1,0	1,2	1,4	0,8	1,5	1,8
15	p_1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	p_2	0,4	0,8	1,6	0,9	2,7	8,1	1,6	6,4	25,6	0,8
	t_1	17	17	17	17	17	17	17	17	17	27
	z	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2
	n	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,12	1,14	1,16	1,18
16	t_1	17	22	27	32	37	42	17	22	27	32
	t_4	150	160	170	180	190	200	210	150	160	170
17	p_1	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6
	t_1	327	377	427	477	527	577	627	327	377	427
18	t_2	477	527	577	627	427	427	477	527	577	627
	η	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
19	t_H	374	350	325	300	275	249	224	119	176	150
	$p_H \cdot 10^2$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	5,0
	t	595	795	215	315	415	475	555	805	565	455
	p	0,9	1,1	1,3	1,5	2,0	5,0	9,0	9,8	12,0	13,5
20	p	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
	p	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	t	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
	p	22,0	21,8	21,6	21,4	21,2	21,0	20,8	20,6	20,4	20,2
21	p	20,0	18,0	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	7,0	6,0	5,0
	y	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	t	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	p	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
	t	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150
	p	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0
23	t	100	120	150	200	200	210	250	250	260	270
	p	0,01	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
24	x_1	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	p_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	t	200	300	310	320	330	340	350	360	370	380
25	p_1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
	t_1	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
	G	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,8
26	p_1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	t_1	500	600	700	800	900	500	600	700	800	900
	G	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7
27	p_1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
	t_1	500	450	400	350	300	500	450	400	350	300
	$p_2 \cdot 10^2$	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6
28	p_1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7
	t_1	260	260	260	270	270	270	280	280	280	290
	p_2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,3	0,35	0,4	0,45	0,3	0,35
29	p_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	t_1	200	250	300	350	400	200	250	300	350	400
	p_2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
30	t_1	20	18	16	22	20	18	16	22	20	18
	φ_1	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
	t_2	80	75	70	80	75	70	80	75	70	80
31	ε	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
	λ	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
	ρ	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
32	p_1	3,0	2,2	2,0	1,6	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,5
	p_2	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,05
	t_1	300	300	300	250	250	250	200	200	200	200
33	p_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	t_1	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34	p_1	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	t_1	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	$p_{\text{пе}}$	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	$t_{\text{пв}}$	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
35	p_1	4,0	3,5	3,0	4,0	3,5	3,0	4,0	3,5	3,0	4,5
	t	450	440	435	420	400	450	440	435	420	480
	$p_{\text{отб}}$	0,24	0,20	0,18	0,12	0,24	0,20	0,18	0,12	0,24	0,4
36	p_1	3,5	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0
	t_1	435	420	400	450	435	420	400	450	430	420
37	t_3	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-20	-20
	p_1	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4
	t_1	10	10	20	20	15	15	10	10	20	20
38	t_3	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-12	-13	-14	-15
	$x_1 \cdot 10^2$	96,8	96,8	96,8	96,8	96,	97	97	97	97	97
	$t_{\text{лв}}$	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	V	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	m	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
2	$p_H \cdot 10^{-2}$	75	75	48	51	51	51	54	58	60	62
	$p_{\text{бар}}^0$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	750
3	p_H	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	t	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$p_{\text{бар}}^t$	755	760	765	770	745	750	755	760	765	770
4	$p_B^{t_1}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
	t_1	30	35	40	45	15	20	25	30	35	40
	$p_{\text{бар}}^{t_2}$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	760
	t_2	35	40	45	15	20	25	30	35	40	45
5	t_1	20	25	30	35	5	10	15	20	25	30
	m_M	150	300	200	250	150	300	200	250	150	300
	h_M	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
6	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	24	36	48	6	12	24	36	48
	τ	310	310	310	310	310	300	300	300	300	300
	η	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,34	0,36	0,38	0,35	0,40
	$Q_H^p \cdot 10^{-3}$	28	29	24	25	26	27	28	29	24	25
8	$M_{\text{кр}}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	$n \cdot 10^{-2}$	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
	Δt	20	25	30	35	40	45	20	25	30	35
9	Газ	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз дух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
	c_x	c_p	c_p	c_p	c_p	μ_{c_0}	μ_{c_0}	μ_{c_0}	μ_{c_0}	μ_{c_0}	μ_{c_0}
	t_1	50	50	50	50	50	250	250	250	250	250
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	7	8	9	10	5	6	7	9	10	8
10	Газ	Воз дух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз дух	O ₂	N ₂
	t_1	400	500	600	700	700	600	500	400	300	200
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	8,5	10,5	9,5	8,5
	m	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
	V_1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	m_{N_2}	3	2	4	6	2	5	3	10	2	9
	m_{CO_2}	2	4	3	2	7	5	8	2	11	5
	m_{CO}	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
	p_1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	t_1	37	47	57	67	7	17	27	37	47	57
	p_2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
12	V_1	350	400	100	150	250	300	350	400	100	150
	Газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂
	t_1	17	17	17	17	17	57	57	57	57	57
13	V_1	200	250	300	350	400	450	100	150	200	250
	p_1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	t_2	500	550	450	400	350	300	250	150	100	150
14	m	3,0	2,5	2,0	1,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
	p_1	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08
	p_2	2,1	1,2	2,0	2,4	2,8	1,6	2,5	3,0	3,5	2,0
15	p_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5
	p_2	1,6	3,2	1,8	5,4	16,2	3,2	12,8	51,2	0,2	0,4
	t_1	27	27	27	27	27	27	27	27	37	37
	z	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3
	n	1,20	1,22	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,12	1,14
16	t_1	37	42	17	22	27	32	37	42	17	22
	t_4	180	190	200	210	150	160	170	180	190	200
17	p_1	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2
	t_1	477	527	577	627	327	377	427	477	527	577
18	t_2	427	477	527	577	627	427	477	527	577	627
	η	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
19	t_H	120	100	80	60	40	90	20	10	10	30
	p_H	22,4	22,0	20,0	18,0	16,0	15,0	12,0	9,0	8,0	6,0
	t	105	295	645	125	695	805	745	565	615	275
	p	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
20	p	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0
	p	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	t	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	p	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
21	p	4,0	3,0	2,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
	y	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
22	t	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
	p	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	t	145	140	135	130	125	120	115	110	105	100
	p	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24
23	t	280	290	300	310	320	350	360	370	380	390
	p	0,30	0,60	0,90	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
24	x_1	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	p_1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
	t	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480
25	p_1	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
	t_1	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
	G	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,4	0,5	0,6
26	p_1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	t_1	200	300	400	500	600	200	300	200	300	400
	G	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
27	p_1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
	t_1	400	480	460	440	420	400	380	360	340	320
	$p_2 \cdot 10^2$	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4
28	p_1	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7
	t_1	290	290	290	300	300	300	310	310	310	320
	p_2	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28
29	p_1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	t_1	250	300	350	400	450	250	300	400	450	350
	p_2	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
30	t_1	19	21	23	25	19	21	23	25	19	21
	φ_1	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
	t_2	75	70	80	75	70	80	75	70	80	75
31	ε	6	6	6	6	6	9	9	9	9	9
	λ	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	ρ	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,1	1,2	1,3	1,4
32	p_1	2,8	2,6	2,4	1,8	1,4	1,2	0,8	0,6	0,45	0,4
	p_2	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
	t_1	400	400	400	350	350	350	300	300	300	300
33	p_1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	t_1	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
34	p_1	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
	t_1	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	$p_{\text{пе}}$	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	$t_{\text{пв}}$	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
35	p_1	5,0	5,5	4,5	5,0	5,5	4,5	5,0	5,5	4,5	6,0
	t	450	440	435	420	480	450	440	435	420	480
	$p_{\text{отб}}$	0,45	0,35	0,3	0,4	0,45	0,35	0,3	0,4	0,45	0,5
36	p_1	4,5	4,0	4,5	4,0	4,0	4,5	4,0	4,0	4,5	4,0
	t_1	435	420	400	450	435	420	400	450	430	420
37	t_3	-16	-16	-16	-16	-16	-18	-18	-18	-18	-18
	p_1	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5
	t_1	15	15	10	10	20	20	15	15	10	10
38	t_3	-16	-17	-18	-19	-20	-11	-12	-13	-14	-15
	$x_1 \cdot 10^2$	97	97	97	97	97	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
	$t_{\text{лв}}$	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	V	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,3	1,7	1,9	1,8
	m	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,5
2	$p_H \cdot 10^{-2}$	64	65	40	35	25	28	26	28	25	25
	$p_{\text{бар}}^0$	755	760	765	770	745	750	755	760	770	765
3	p_H	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	1,52
	t	20	25	30	35	40	20	25	30	40	35
	$p_{\text{бар}}^t$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	770
4	$p_B^{t_1}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	280
	t_1	45	15	20	25	30	35	40	45	15	40
	$p_{\text{бар}}^{t_2}$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	760
	t_2	15	20	25	30	35	40	45	15	20	30
5	t_1	35	5	10	15	20	25	30	35	5	15
	m_M	200	250	150	300	200	250	150	300	150	200
	h_M	4	4	3	2	1	1	2	3	4	2
6	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	36	48	6	12	24	36	48	20
	τ	340	340	340	340	330	330	330	330	330	334
	η	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,30
	$Q_H^P \cdot 10^{-3}$	26	27	28	29	24	25	26	28	29	27
8	$M_{\text{кр}}$	300	310	320	330	340	350	360	370	380	200
	$n \cdot 10^{-2}$	10	9	21	20	19	18	17	16	15	15
	Δt	30	35	40	45	20	25	30	35	40	35
9	Газ	Воз дух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз дух	O ₂	Воз дух
	c_x	μc_v	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_v
	t_1	250	350	350	350	350	350	350	350	450	450
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	11	12	11	11	9	7	8	6	9	10
10	Газ	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз дух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
	t_1	100	300	400	500	600	700	100	200	600	500
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	7,5	8,5	10,5	9,5
	m	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
	V_1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	m_{N_2}	1	1	1	2	2	5	10	3	2	4
	m_{CO_2}	2	3	1	2	2	5	3	2	10	5
	m_{CO}	2	1	3	1	1	5	2	10	3	6
	p_1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1
	t_1	67	7	17	27	37	47	57	67	57	37
	p_2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,5
12	V_1	250	300	350	400	450	500	300	350	400	200
	Газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	O ₂
	t_1	7	7	7	7	7	47	47	47	47	47
13	V_1	300	350	400	450	100	150	200	250	300	500
	p_1	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0
	t_2	250	300	350	400	450	500	550	600	500	200
14	m	7,0	7,5	8,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	4,5	5,0
	p_1	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,10
	p_2	3,0	3,6	4,2	2,4	4,0	4,8	5,6	3,2	0,3	4,0
15	p_1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3	0,1
	p_2	0,8	0,45	1,35	4,05	0,8	3,2	12,8	1,2	2,4	12,5
	t_1	37	37	37	37	37	37	37	37	27	27
	z	4	2	3	4	2	3	4	2	3	3
	n	1,16	1,18	1,20	1,22	1,17	1,14	1,16	1,18	1,22	1,2
16	t_1	27	32	37	42	17	22	27	32	37	40
	t_4	210	150	160	170	180	190	200	210	150	200
17	p_1	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0
	t_1	627	327	377	427	477	527	577	623	327	427
18	t_2	427	477	527	577	627	427	477	527	577	557
	η	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
19	t_H	50	70	110	130	140	200	5	8	25	360
	p_H	5,0	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,12	0,15
	t	365	445	965	875	715	615	555	745	405	155
	p	16,0	17,5	20,0	22,0	22,5	25,0	27,0	30,0	15,0	17,0
20	p	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,06	0,05
	p	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
	t	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
	p	18,0	17,8	17,6	17,4	17,2	17,0	16,8	16,6	16,4	16,2
21	p	0,3	0,2	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,08	0,01
	y	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2	0,3

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
22	t	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
	p	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	t	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150
	p	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
23	t	400	400	420	450	500	350	360	370	380	400
	p	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
24	x_1	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	p_1	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
	t	490	500	510	520	530	540	560	570	580	500
25	p_1	0,26	0,27	0,28	0,29	0,35	0,45	0,55	0,65	0,70	0,75
	t_1	220	230	240	250	260	270	280	290	300	327
	G	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
26	p_1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	t_1	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
	G	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
27	p_1	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10
	t_1	300	280	260	240	220	200	220	240	260	280
	$p_2 \cdot 10^2$	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4
28	p_1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7
	t_1	275	275	275	300	300	300	310	310	310	320
	p_2	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4
29	p_1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	t_1	250	300	350	400	450	300	350	400	450	500
	p_2	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
30	t_1	22	20	18	16	22	20	18	16	22	20
	φ_1	35	45	55	65	75	35	45	55	65	75
	t_2	70	80	75	70	80	75	70	80	75	70
31	ε	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
	λ	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	ρ	1,2	1,1	1,3	1,4	1,5	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
32	p_1	0,35	0,28	0,26	0,24	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,4
	p_2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
	t_1	300	250	250	250	250	250	250	250	250	250
33	p_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	t_1	200	250	300	350	400	200	250	300	350	400

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
34	p_1	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	t_1	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	$p_{\text{пе}}$	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	$t_{\text{пв}}$	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
35	p_1	7,0	6,5	6,5	7,0	6,5	6,0	7,0	6,5	6,0	7,0
	t	450	440	435	500	480	450	440	435	500	480
	$p_{\text{отб}}$	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45	0,5	0,55
36	p_1	5,5	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5	5,0
	t_1	435	420	400	450	435	420	400	450	435	420
37	t_3	-10	-10	-10	-10	-10	-12	-12	-12	-12	-12
	p_1	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4
	t_1	20	20	15	15	10	10	20	20	15	15
38	t_3	-16	-17	-18	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
	$x_1 \cdot 10^2$	97,1	97,1	97,1	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
	t_{1B}	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ПО ТЕОРИИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА

Таблица 2

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	t_1	200	250	300	350	400	450	200	250	300	350
	q	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	δ_1	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	δ_2	40	50	60	70	80	90	100	40	50	60
	δ_3	170	180	190	200	210	220	170	180	190	200
3	δ_2	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	δ_3	30	35	40	45	50	55	30	35	40	45
	t_1	250	260	270	280	290	300	310	250	260	270
4	t_1	700	690	680	670	660	650	640	630	620	610
	t_4	110	120	130	140	150	160	170	110	120	130
5	d	3	4	5	6	8	50	60	70	80	90
	ТЕПЛОНОСИ- ТЕЛЬ	вода					воздух				
	l	0,12	0,16	0,12	0,16	0,20	2	3	4	5	6
	\bar{W}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	5	20	15	20	25
	$\bar{t}_ж$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	\bar{t}_c	10	10	20	20	30	40	60	60	50	40
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	n	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	d	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50
	$\bar{t}_ж$	200	250	300	350	400	400	350	300	250	200
	\bar{W}	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
	φ	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60
7	расположе- ние трубы	горизонтально					вертикально				
	d	160	180	200	220	240	40	50	60	70	80
	l	4	5	6	8	7	2	3	4	5	6
	\bar{t}_c	50	60	70	80	90	150	160	170	180	190
	$\bar{t}_ж$	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
8	δ	25	20	15	10	30	5	10	15	20	25
	\bar{t}_{C1}	150	160	170	180	190	80	85	90	95	100
	\bar{t}_{C2}	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	ТЕПЛОНОСИ- ТЕЛЬ	воздух					вода				
9	F	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4
	\bar{t}_c	110	115	125	135	140	150	160	165	170	190
	p	0,1	0,12	0,16	0,2	0,26	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	расположе- ние трубы	горизонтально					вертикально				
	d	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	l	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	\bar{t}_c	95	95	95	100	100	100	120	130	140	95
	p	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	0,3
11	t_1	117	127	137	147	157	117	127	137	147	157
	t_2	47	47	47	47	47	50	50	50	50	50
12	T_1	800	800	800	800	800	900	900	900	900	900
	T_2	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	c	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
13	$t \cdot 10^{-2}$	14	15	16	17	18	14	15	16	17	18
	$p_{H_2O} \cdot 10^2$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	$p_{CO_2} \cdot 10^2$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	V	10	12	14	16	18	17	15	13	11	9
	F	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
14	t_1	80	82	84	86	78	82	84	86	78	80
	t_1''	40	38	36	32	42	40	38	36	32	42
	t_2	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10
	G_1	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28
	G_2	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
15	t_2	10	12	14	16	18	20	22	22	20	18
	G_2	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6
	p	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
16	t_2	25	23	21	19	27	29	21	19	23	25
	p	0,4	0,3	0,2	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	t_1	400	450	200	250	300	350	400	450	200	250
	q	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	δ_1	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	δ_2	70	80	90	100	40	50	60	70	80	90
	δ_3	210	220	170	180	190	200	210	220	170	180
3	δ_2	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	δ_3	50	55	30	35	40	45	50	55	30	35
	t_1	280	290	300	310	250	260	270	280	290	300
4	t_1	600	590	700	690	680	670	660	650	640	630
	t_4	140	150	160	170	110	120	130	140	150	160
5	d	3	4	5	6	8	50	60	70	80	90
	ТЕПЛОНОСИ- ТЕЛЬ	вода					воздух				
	l	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	2	3	4	5
	\bar{W}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	10	15	20	25	30
	$\bar{t}_{ж}$	70	80	90	60	50	120	130	140	150	160
	$\bar{t}_{с}$	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	n	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	d	20	30	50	70	60	70	60	40	30	20
	$\bar{t}_{ж}$	200	250	300	350	400	450	450	450	450	450
	\bar{W}	30	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	φ	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60
7	расположе- ние трубы	горизонтально					вертикально				
	d	40	50	60	70	80	160	180	200	220	240
	l	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6
	$\bar{t}_{с}$	200	210	220	230	240	40	50	60	70	80
	$\bar{t}_{ж}$	20	30	40	20	30	10	20	30	10	20
8	δ	40	50	60	70	80	30	35	40	45	50
	$\bar{t}_{с1}$	200	210	220	230	240	40	50	60	70	80
	$\bar{t}_{с2}$	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20
	ТЕПЛОНОСИ- ТЕЛЬ	воздух					вода				
9	F	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
	$\bar{t}_{с}$	195	200	210	220	230	235	240	250	255	260
	p	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,0	3,5

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	расположе- ние трубы	горизонтально					вертикально				
	d	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40
	l	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8
	\bar{t}_c	90	85	85	85	80	75	70	65	60	55
	p	0,26	0,20	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
11	t_1	117	127	137	147	157	112	122	132	142	152
	t_2	42	42	42	42	42	52	52	52	52	52
12	$T_1 \cdot 10^{-2}$	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11
	T_2	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	c	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
13	$t \cdot 10^{-2}$	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
	$p_{H_2O} \cdot 10^2$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	$p_{CO_2} \cdot 10^2$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	V	8	10	12	14	16	18	20	16	14	12
	F	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
14	t_1	84	86	78	80	82	86	78	80	82	84
	t_1''	40	38	36	32	42	40	38	36	32	42
	t_2	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12
	G_1	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
	G_2	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
15	t_2	16	14	12	10	8	8	10	12	14	16
	G_2	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
	p	0,25	0,3	0,35	0,2	0,4	0,25	0,2	0,3	0,35	0,4
16	t_2	27	29	19	21	23	25	27	29	19	21
	p	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,25	0,35	0,45	0,55	0,15

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов										
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	t_1	300	350	400	450	200	250	300	350	400	450	
	q	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400	
2	δ_1	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160	
	δ_2	100	40	50	60	70	80	90	100	40	50	
	δ_3	190	200	210	220	170	180	190	200	210	220	
3	δ_2	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40	
	δ_3	40	45	50	55	30	35	40	45	50	55	
	t_1	310	250	260	270	280	290	300	310	250	260	
4	t_1	620	610	600	590	700	690	680	670	660	650	
	t_4	170	110	120	130	140	150	160	170	110	120	
5	d	4	6	8	10	12	40	50	60	70	80	
	ТЕПЛОНОСИ- ТЕЛЬ	вода					воздух					
	l	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
	\bar{W}	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	5	10	15	20	25	
	$\bar{t}_ж$	50	60	70	80	90	180	190	200	210	220	
	\bar{t}_c	10	10	10	10	10	30	40	50	60	70	
6	тип пучка	коридорный					шахматный					
	n	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	
	d	60	60	80	80	100	100	80	60	80	60	
	$\bar{t}_ж$	200	300	400	500	600	550	450	350	250	150	
	\bar{W}	5	10	15	20	25	30	20	10	35	40	
	φ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	80	
7	расположе- ние трубы	горизонтально					вертикально					
	d	50	60	80	100	120	20	30	40	50	60	
	l	2	4	5	6	7	1	2	3	4	5	
	\bar{t}_c	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
	$\bar{t}_ж$	10	30	50	20	30	40	20	30	40	40	
8	δ	90	100	110	120	130	10	20	30	40	50	
	\bar{t}_{C1}	200	250	300	350	400	60	70	80	90	100	
	\bar{t}_{C2}	80	80	80	80	80	40	40	40	40	40	
	ТЕПЛОНОСИ- ТЕЛЬ	воздух					вода					
9	F	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	
	\bar{t}_c	270	280	295	300	310	320	330	340	350	350	
	p	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	

Но- мера задач	Обозначе- ние величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10	расположе- ние трубы	горизонтально					вертикально				
	d	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	l	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	3,8
	\bar{t}_c	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
	$p \cdot 10^2$	2,5	2,0	1,8	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
11	t_1	112	122	132	142	152	112	122	132	142	152
	t_2	50	50	50	50	50	47	47	47	47	47
12	$T_1 \cdot 10^{-2}$	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13
	T_2	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	c	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,5	4,0
13	$t \cdot 10^{-2}$	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
	$p_{H_2O} \cdot 10^2$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	$p_{CO_2} \cdot 10^2$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	V	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	F	40	39	38	37	36	35	34	33	32	30
14	t_1	78	80	82	84	86	77	79	81	83	85
	t_1''	40	38	36	32	42	39	41	43	45	47
	t_2	11	11	11	11	11	7	8	9	10	11
	G_1	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
	G_2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
15	t_2	10	20	22	20	18	16	14	12	10	8
	G_2	2,4	2,2	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	2,8	2,6
	p	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
16	t_2	23	25	27	29	20	22	24	26	28	30
	p	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,55	0,45	0,35	0,25	0,15

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Селин В.В. Теплотехника: (Учебник для вузов) / В.В. Селин. – Калининград: ОГУП «Калининград. кн. изд-во», 2001. – 381 с.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. – М.: Высшая шк., 1980. – 469 с.
3. Овсянников М.К. Теплотехника, техническая термодинамика и теплопередача: Учебник / М.К. Овсянников, И.И. Костылев. – СПб.: ЭЛМОР, 1998. – 208 с.
4. Краснощёков Е.А. Задачник по теплопередаче / Е.А. Краснощёков, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1980. – 286 с.
5. Сборник задач по технической термодинамике / Т.Н. Андрианова, Б.В. Дзампов, В.Н. Зубарев, С.А. Ремизов. – М.: Энергия, 1981. – 264 с.
6. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко; под ред. Ф.Ф. Цветкова. – М.: Изд-во МЭИ, 1997. – 136 с.
7. Исаев С.И. Курс химической термодинамики / С.И. Исаев. – М.: Машиностроение, 1975. – 256 с.
8. Вукалович М.П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / М.П. Вукалович, С.А. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 408 с.
9. Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 168 с.
10. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок: учебное пособие для вузов / А.А. Александров. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 158 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Задачи по технической термодинамике	4
1.1. Параметры состояния	4
1.2. Закон сохранения энергии	5
1.3. Идеальный газ и его свойства	5
1.4. Термодинамические процессы для идеального газа	6
1.5. Второй закон термодинамики	7
1.6. Реальные газы и пары	8
1.7. Термодинамика потока	9
1.8. Влажный воздух	10
1.9. Циклы теплосиловых установок.....	11
1.10. Циклы холодильных установок.....	12
1.11. Элементы химической термодинамики.....	13
2. Задачи по теории тепломассообмена	15
2.1. Теплопроводность	15
2.2. Конвективный теплообмен.....	16
2.3. Теплообмен излучением.....	17
2.4. Теплопередача и теплообменные аппараты	18
3. Варианты заданий по термодинамике	19
4. Варианты заданий по теории тепломассообмена	31
Рекомендуемая литература	37

Виктор Васильевич Селин
Елена Анатольевна Беркова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Методические указания и индивидуальные задания
для самостоятельной работы студентов специальностей
140101.65 (Тепловые электрические станции),
180403.65 (Эксплуатация судовых энергетических установок) и
270109.65 (Теплогазоснабжение и вентиляция)

Редактор
УОП КГТУ. Заказ . Тираж 150 экз.
Объем п.л.; уч.-изд.л.
Цена договорная.