

Вопросы для РГР

Вопрос 1

1.1. Параметры термодинамической системы, единицы их измерения. Уравнение состояния системы для идеального газа. Газовая постоянная и универсальная газовая постоянная. Уравнение Ван-дер-Ваальса для реального газа.

1.2. Термодинамический процесс. Работа процесса механическая l и техническая l' . Первое начало термодинамики. Понятия внутренней энергии u и энтальпии i . Теплоёмкость, уравнение Майера, показатель адиабаты $k = c_p / c_v$.

1.3. Смеси газов. Способы задания смеси, связь массовых долей с объёмными. Молекулярная масса, газовая постоянная смеси и теплоёмкость.

1.4. Анализ термодинамических процессов на основании первого закона термодинамики (изохорного, изобарного, изотермического), уравнение связи между параметрами; графическое представление процесса в системе координат PV ; формулы для расчёта процесса l и l' , подведённой теплоты q .

1.5. Анализ термодинамических процессов на основании первого закона термодинамики (адиабатного, политропного), уравнение связи между параметрами; графическое представление процесса в системе координат PV ; формулы расчёта работы процесса l и l' , подведённой теплоты q .

1.6. Второй закон термодинамики. Понятие энтропии. Формулы расчёта изменения энтропии в процессе перехода системы из одного состояния в другое. Формулировки второго закона термодинамики.

1.7. Второй закон термодинамики, его формулировки. Система координат TS и графики основных процессов в ней. Система координат IS и графики основных процессов в ней.

1.8. Одноступенчатый поршневой компрессор, основные его элементы. Работа на сжатие газа и работа общая на привод в идеальном компрессоре. Схема многоступенчатого поршневого компрессора.

1.9. Лопаточные компрессоры. Схема радиального лопаточного компрессора. Расчётная формула определения работы адиабатного сжатия в радиальном лопаточном компрессоре.

1.10. Лопаточные компрессоры. Схема осевого лопаточного компрессора. Расчётная формула определения работы адиабатного сжатия в осевом лопаточном компрессоре.

1.11. Циклы поршневых ДВС. Цикл Карно и его представление в PV и TS координатах. Термический КПД цикла.

1.12. Циклы поршневых ДВС. Цикл с подводом теплоты при $v=\text{const}$ и его представление в PV и TS координатах. Термический КПД цикла, параметры в узловых точках циклов. Формула расчёта работы цикла.

1.13. Циклы поршневых ДВС. Цикл подводом теплоты при $p=\text{const}$ и его представление в PV и TS координатах. Термический КПД цикла, параметры в узловых точках циклов. Формула расчёта работы цикла.

1.14. Циклы поршневых ДВС. Цикл со смешанным подводом теплоты и его представление в PV и TS координатах. Термический КПД цикла, параметры в узловых точках циклов. Формула расчёта работы цикла.

1.15. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при $p=\text{const}$. Термический КПД цикла, параметры в узловых точках циклов. Формула расчёта работы цикла.

1.16. Цикл прямоточного жидкостного реактивного двигателя. Термический КПД цикла, параметры в узловых точках циклов. Формула расчёта работы цикла.

1.17. Процессы подогрева воды, парообразования и перегрева пара в системе координат PV . Критические параметры. Уравнение Ван-дер-Вальса.

1.18. Процессы подогрева воды, парообразования и перегрева пара в системе координат TS . Критические параметры. Уравнение Ван-дер-Вальса.

1.19. Процессы подогрева воды, парообразования и перегрева пара в системе координат IS . Критические параметры. Уравнение Ван-дер-Вальса.

1.20. Общая методика расчёта паровых процессов при помощи IS диаграммы (рассмотреть изохорный процесс).

1.21. Общая методика расчёта паровых процессов при помощи IS диаграммы (рассмотреть адиабатный процесс).

1.22. Общая методика расчёта паровых процессов при помощи IS диаграммы (рассмотреть изобарный процесс).

1.23. Общая методика расчёта паровых процессов при помощи IS диаграммы (рассмотреть процесс дросселирования).

1.24. Степень сухости пара x . Нижняя пограничная кривая ($x=0$) и верхняя пограничная кривая ($x=1$). Таблицы для сухого насыщенного пара и воды (по температурам и по давлениям) и способ пользования ими.

1.25. Паровая машина Ренкина, её элементы и цикл в системе координат PV . КПД цикла.

1.26. Паровая машина Ренкина, её элементы и цикл в системе координат TS . КПД цикла.

1.27. Паровая машина Ренкина, её элементы и цикл в системе координат IS . КПД цикла.

1.28. Цикл воздушной холодильной машины (в системах координат PV, TS) и её элементы. Понятие холодильного коэффициента.

1.29. Цикл воздушной холодильной машины (в системах координат TS, IS) и её элементы. Понятие холодильного коэффициента.

1.30. Тепловой насос для использования теплоты низкотемпературной окружающей среды. Основные элементы теплового насоса. Коэффициент теплоиспользования.

1.31. Процесс дросселирования. Цикл паровой холодильной машины (в системе координат IS) (домашнего холодильника) и её элементы.

1.32. Влажный воздух. Абсолютная влажность и относительная. Гигрометр (сухой и влажный термометры). Влагосодержание d и её связь с относительной влажностью φ .

1.33. Термодинамика газового потока. Уравнение неразрывности, уравнение энергии, уравнение состояния. Сопловое (конфузорное) и диффузорное течения.

1.34. Термодинамика газового потока. Истечение газа из суживающихся каналов. Критические параметры истечения газа из суживающихся каналов. Комбинированное сопло Лавалья.

1.35. Дросселирование газов. Процесс в IS координатах. Способы получения низких температур.

1.36. Цикл жидкостного реактивного двигателя. Основные элементы ЖРД. Воздушно-реактивные двигатели (турбореактивные и прямоточные) и их элементы. Циклы в PV и TS координатах.

1.37. Как учитывается в термодинамике поправка на реальную сжимаемость газов.

Вопрос 2

2.1. Закон Фурье и коэффициент теплопроводности λ .

2.2. Дифференциальное уравнение Фурье.

2.3. Коэффициент температуропроводности.

2.4. Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье: краевые условия (условия однозначности).

2.5. Теплопроводность плоской стенки.

2.6. Теплопроводность плоской многослойной стенки.

2.7. Теплопроводность цилиндрической стенки (трубы).

2.8. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки.

2.9. Теплопроводность шаровой стенки.

2.10. Теплопроводность тел с внутренними источниками тепла: теплопроводность плоской бесконечной пластины.

- 2.11. Теплопроводность тел с внутренними источниками тепла: теплопроводность сплошного круглого стержня.
- 2.12. Теплоотдача: конвективный теплообмен, коэффициент теплоотдачи.
- 2.13. Теплоотдача: теоремы подобия.
- 2.14. Основные виды теплообмена.
- 2.15. Теплообмен на плоской пластине.
- 2.16. Теплообмен через ребрѐнные поверхности.
- 2.17. Теплообмен при поперечном обтекании плоского цилиндра.
- 2.18. Теплообмен при обтекании шара.
- 2.19. Теплообмен при вынужденном течении по трубам и каналам при ламинарном течении.
- 2.20. Теплообмен при вынужденном течении по трубам и каналам при турбулентном течении.
- 2.21. Теплообмен при свободном движении теплоносителя.
- 2.22. Лучистый теплообмен: основные понятия и определения.
- 2.23. Лучистый теплообмен: поглощательная способность, отражательная способность, пропускная способность.
- 2.24. Основные законы лучистого теплообмена: закон Планка.
- 2.25. Основные законы лучистого теплообмена: закон Вина.
- 2.26. Основные законы лучистого теплообмена: закон Стефана – Больцмана.
- 2.27. Основные законы лучистого теплообмена: Закон Ламберта.
- 2.28. Основные законы лучистого теплообмена: закон Кирхгофа; следствие закона Кирхгофа.
- 2.29. Лучистый теплообмен между двумя плоскопараллельными пластинами: тепловые потоки.
- 2.30. Лучистый теплообмен в газовых средах.
- 2.31. Теплопередача через плоскую стенку.
- 2.32. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
- 2.33. Теплопередача через шаровую стенку.
- 2.34. Теплопередача через реберную стенку.
- 2.35. Теплообменные аппараты рекуперативного типа.
- 2.36. Теплообменные аппараты регенеративного типа.
- 2.37. Теплообменные аппараты смешительного типа.

Задача 3

3.1. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 3$ бар и степенью сухости $x_1 = 0,8$ адиабатно расширяется до степени сухости $x_2 = 0,6$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии и работу процесса.

3.2. 1 кг N_2 политропно сжимается с показателем $n = 1,3$. Найти механическую l и техническую l' работы, если начальная температура $t_1 = 5^\circ C$, начальное абсолютное давление $P_1 = 1$ бар, конечное давление $P_2 = 10$ бар. Построить графики процесса в системах координат PV, TS, IS.

3.3. Баллон с газом O_2 объёмом $V = 90$ литров прогревается от температуры $t_1 = 20^\circ C$ до температуры $t_2 = 90^\circ C$. Каково будет давление в баллоне после прогрева, если начальное абсолютное давление $P_1 = 1$ бар? Найти работу процесса, изменение внутренней энергии в процессе. Построить графики процесса в системах координат PV, TS, IS.

3.4. 1 кг N_2 политропно сжимается с показателем $n = 1,25$. Найти механическую l и техническую l' работы, если начальная температура $t_1 = 10^\circ C$, начальное абсолютное давление $P_1 = 1$ бар, конечное давление $P_2 = 12$ бар. Построить графики процесса в системах координат PV, TS, IS.

3.5. В баллоне объёмом $V = 1$ м³ находится газ, состоящий по массе из углекислого газа $CO_2 = 35\%$, азота $N_2 = 60\%$ и кислорода $O_2 = 5\%$ под давлением $P_1 = 6$ бар и температуре $t_1 = 50^\circ C$. Газ нагревается в баллоне до температуры $t_2 = 100^\circ C$. Определить объёмный состав, удельную газовую постоянную.

3.6. В баллоне объёмом $V = 1$ м³ находится газ, состоящий по массе из углекислого газа $CO_2 = 45\%$, азота $N_2 = 50\%$ и кислорода $O_2 = 5\%$ под давлением $P_1 = 7$ бар и температуре $t_1 = 60^\circ C$. Газ нагревается в баллоне до температуры $t_2 = 100^\circ C$. Определить объёмный состав, удельную газовую постоянную, молекулярную массу, массу газа и конечную температуру газа.

3.7. В сосуде под поршнем емкостью $V = 0,01$ м³ находится газ, состоящий по объёму из водорода $H_2 = 15\%$, углекислого газа $CO_2 = 15\%$, и азота $N_2 = 70\%$, под давлением $P_1 = 1$ бар и температуре $t_1 = 0^\circ C$. К газу

подводится теплота $Q = 2 \text{ кДж}$ при постоянном давлении. Определить массовый состав, удельную газовую постоянную, молекулярную массу, массу газа и конечную температуру газа.

3.8. В баллоне объёмом $V = 1 \text{ м}^3$ находится газ, состоящий по массе из углекислого газа $CO_2 = 25\%$, азота $N_2 = 45\%$ и кислорода $O_2 = 30\%$ под давлением $P_1 = 4 \text{ бар}$ и температуре $t_1 = 70^\circ \text{C}$. Газ нагревается в баллоне до температуры $t_2 = 110^\circ \text{C}$. Определить объёмный состав, удельную газовую постоянную, молекулярную массу, массу газа и количество теплоты, затраченное на его подогрев.

3.9. В одноступенчатом поршневом компрессоре политропно, с показателем политропы $n = 1,25$ сжимается воздух до конечного давления $P_2 = 10 \text{ бар}$. Начальная температура воздуха $t_1 = 20^\circ \text{C}$ и давление $P_1 = 1 \text{ бар}$. Определить конечную температуру и удельные объёмы в начале и конце сжатия. Найти работу на сжатие 1 кг воздуха, а также общую работу на привод компрессора.

3.10. В лопаточном радиальном компрессоре адиабатно сжимается воздух до конечного давления $P_2 = 12 \text{ бар}$. Начальная температура воздуха $t_1 = 5^\circ \text{C}$ и давление $P_1 = 1 \text{ бар}$. Определить конечную температуру и удельные объёмы в начале и в конце сжатия. Найти работу на сжатие 1 кг воздуха.

3.11. Перегретый водяной пар с начальной температурой $t_1 = 100^\circ \text{C}$ и начальным давлением $P_1 = 0,2 \text{ бар}$ сжимается изотермически до степени сухости пара $x_2 = 0,9$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях при помощи IS диаграммы. Определить количество отведённой от пара теплоты, изменение внутренней энергии и работу сжатия.

3.12. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 1 \text{ бар}$ и степенью сухости $x_1 = 0,9$ адиабатно расширяется до степени сухости $x_2 = 0,7$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии и работу процесса.

3.13. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 2 \text{ бар}$ и степенью сухости $x_1 = 0,8$ адиабатно расширяется до степени сухости $x_2 = 0,6$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях

при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии и работу процесса.

3.14. В пароперегреватель котельного агрегата поступает влажный пар в количестве 18 кг/с. Определить сообщаемое пару часовое количество теплоты Q , необходимое для перегрева пара до $t = 560^\circ\text{C}$, если степень сухости пара перед входом в пароперегреватель $x = 0,95$, а давление пара $P = 120$ бар. Пользуясь IS диаграммой определить изменение внутренней энергии пара и работу его расширения при неизменном давлении в пароперегревателе.

3.15. Определить в цикле поршневого двигателя с подводом теплоты при $v = \text{const}$: параметры узловых точек, работы расширения, сжатия и полезную работу, количество подведённой и отведённой теплоты, термический к.п.д. цикла. Параметры начальной точки $P_1 = 1$ бар и $T_1 = 293\text{K}$, степень сжатия $\varepsilon = 6$, степень повышения давления $\lambda = 1,5$.

Рабочее тело - 1 кг воздуха с газовой постоянной $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоёмкость изохорная $c_v = R / (k - 1)$. Изобразить цикл в системах координат PV и TS.

3.16. В пароперегреватель котельного агрегата поступает насыщенный пар в количестве 18 кг/с. Определить сообщаемое пару часовое количество теплоты Q , необходимое для перегрева пара до $t = 550^\circ\text{C}$, если степень сухости пара перед входом в пароперегреватель $x = 1$, а давление пара $P = 100$ бар. Пользуясь IS диаграммой определить изменение внутренней энергии пара и работу его расширения при неизменном давлении в пароперегревателе.

3.17. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальной температурой перед турбиной $t_1 = 500^\circ\text{C}$ и начальным давлением $P_1 = 650$ бар. Определить к.п.д. цикла. Задачу решить когда конечное давление $P_2 = 0,05$ бар. При решении применить IS диаграмму для определения энтальпий в точках 1 и 2, а для энтальпии воды, подаваемой в котёл i' - использовать таблицы для воды на линии насыщения. Изобразить цикл в системах координат PV и TS. Представить схему установки.

3.18. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 3$ бар и степенью сухости $x_1 = 0,8$ адиабатно расширяется до степени сухости $x_2 = 0,6$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях

при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии и работу процесса.

3.19. В пароперегреватель котельного агрегата поступает влажный пар в количестве 14 кг/с. Определить сообщаемое пару часовое количество теплоты Q , необходимое для перегрева пара до $t = 540^\circ\text{C}$, если степень сухости пара перед входом в пароперегреватель $x = 0,90$, а давление пара $P = 100$ бар. Пользуясь IS диаграммой определить изменение внутренней энергии пара и работу его расширения при неизменном давлении в пароперегревателе.

3.20. Определить в цикле поршневого двигателя с подводом теплоты при $p = \text{const}$: параметры узловых точек, работы расширения, сжатия и полезную работу, количество подведённой и отведённой теплоты, термический к.п.д. цикла. Параметры начальной точки $P_1 = 1$ бар и $T_1 = 293\text{K}$, степень сжатия $\varepsilon = 16$, степень предварительного расширения $\rho = 2$. Рабочее тело - 1 кг воздуха с газовой постоянной $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоёмкость изобарная $c_p = Rk / (k - 1)$. Изобразить цикл в системах координат PV и TS.

3.21. Определить в цикле поршневого двигателя со смешанным подводом теплоты: параметры узловых точек, работы расширения, сжатия и полезную работу, количество подведённой и отведённой теплоты, термический к.п.д. цикла. Параметры начальной точки $P_1 = 1$ бар и $T_1 = 293\text{K}$, степень сжатия $\varepsilon = 16$, степень повышения давления $\lambda = 1,5$, степень предварительного расширения $\rho = 2$. Рабочее тело - 1 кг воздуха с газовой постоянной $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоёмкость изохорная $c_v = R / (k - 1)$, теплоёмкость изобарная $c_p = Rk / (k - 1)$. Изобразить цикл в системах координат PV и TS.

3.22. Для идеального цикла ГТУ с подводом теплоты при $p = \text{const}$ определить параметры узловых точек, работы расширения, сжатия, полезную работу, количество подведённой и отведённой теплоты, термический КПД цикла. Параметры начальной точки $P_1 = 1$ бар и $T_1 = 293\text{K}$, степень повышения давления в компрессоре $\beta = P_2 / P_1 = 10$, температура в третьей точке $T_3 = 1000\text{K}$. Рабочее тело - 1 кг воздуха с газовой постоянной

$R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоёмкость изобарная $c_p = Rk/(k-1)$. Изобразить цикл в системах координат PV и TS. Представить схему установки.

3.23. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальной температурой перед турбиной $t_1 = 400^\circ \text{C}$ и начальным давлением $P_1 = 50$ бар. Определить к.п.д. цикла. Задачу решить когда конечное давление $P_2 = 0,04$ бар. При решении применить IS диаграмму для определения энтальпий в точках 1 и 2, а для энтальпии воды, подаваемой в котёл i' - использовать таблицы для воды на линии насыщения. Изобразить цикл в системах координат PV и TS. Представить схему установки.

3.24. Определить скорость истечения воздуха из суживающегося канала, если истечение происходит из баллона с давлением $P_1 = 1,5$ бар в атмосферу с давлением $P_2 = 1$ бар. Температура в баллоне $t_1 = 25^\circ \text{C}$. Как изменится скорость истечения, если баллон поднять в горы, где давление $P_2 = 0,5$ бар? Каковы будут температуры на выходе из канала в первом и во втором случае?

3.25. Определить скорость истечения воздуха из суживающегося канала, если истечение происходит из баллона с давлением $P_1 = 1,4$ бар в атмосферу с давлением $P_2 = 1$ бар. Температура в баллоне $t_1 = 22^\circ \text{C}$. Как изменится скорость истечения, если баллон поднять в горы, где давление $P_2 = 0,45$ бар? Каковы будут температуры на выходе из канала в первом и во втором случае?

3.26. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 3,5$ бар и степенью сухости $x_1 = 0,85$ адиабатно расширяется до степени сухости $x_2 = 0,65$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии и работу процесса.

3.27. В лопаточном радиальном компрессоре адиабатно сжимается воздух до конечного давления $P_2 = 11$ бар. Начальная температура воздуха $t_1 = 7^\circ \text{C}$ и давление $P_1 = 1$ бар. Определить конечную температуру и удельные объёмы в начале и конце сжатия. Найти работу на сжатие 1 кг воздуха.

3.28. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальной температурой перед турбиной $t_1 = 470^\circ\text{C}$ и начальным давлением $P_1 = 57$ бар. Определить к.п.д. цикла. Задачу решать, когда конечное давление $P_2 = 0,045$ бар. При решении применить IS диаграмму для определения энтальпий в точках 1 и 2, а для энтальпии воды, подаваемой в котёл i' - использовать таблицы для воды на линии насыщения. Изобразить цикл в системах координат PV и TS. Представить схему установки.

3.29. В сосуде под поршнем емкостью $V = 0,015$ м³ находится газ, состоящий по объёму из водорода $H_2 = 17\%$, углекислого газа $CO_2 = 13\%$, и азота $N_2 = 70\%$, под давлением $P_1 = 1$ бар и температуре $t_1 = 3^\circ\text{C}$. К газу подводится теплота $Q = 2$ кДж при постоянном давлении. Определить массовый состав, удельную газовую постоянную, молекулярную массу, массу газа и конечную температуру газа.

3.30. Определить скорость истечения воздуха из суживающегося канала, если истечение происходит из баллона с давлением $P_1 = 1,3$ бар в атмосферу с давлением $P_2 = 0,99$ бар. Температура в баллоне $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Как изменится скорость истечения, если баллон поднять в горы, где давление $P_2 = 0,5$ бар? Каковы будут температуры на выходе из канала в первом и во втором случае?

3.31. В идеальной воздушной холодильной машине повышается давление воздуха от $P_1 = 1$ бар с температурой $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до давления $P_2 = 2$ бар. Каковы температуры в конце сжатия и холодильный коэффициент ε ?

3.32. В идеальной воздушной холодильной машине повышается давление воздуха от $P_1 = 0,99$ бар с температурой $t_1 = 21^\circ\text{C}$ до давления $P_2 = 2,5$ бар. Каковы температуры в конце сжатия и холодильный коэффициент ε ?

3.33. Определить скорость истечения воздуха из суживающегося канала, если истечение происходит из баллона с давлением $P_1 = 1,42$ бар в атмосферу с давлением $P_2 = 0,98$ бар. Температура в баллоне $t_1 = 21^\circ\text{C}$. Как изменится скорость истечения, если баллон поднять в горы, где давление $P_2 = 0,44$ бар? Каковы будут температуры на выходе из канала в первом и во втором случае?

3.34. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальной температурой перед турбиной $t_1 = 480^\circ\text{C}$ и начальным давлением $P_1 = 58$ бар. Определить к.п.д. цикла. Задачу решать, когда конечное давление $P_2 = 0,042$ бар. При решении применить IS диаграмму для определения энтальпий в точках 1 и 2, а для энтальпии воды, подаваемой в котёл i' - использовать таблицы для воды на линии насыщения. Изобразить цикл в системах координат PV и TS. Представить схему установки.

3.35. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 20$ бар и степенью сухости $x_1 = 0,95$ дросселируется до давления $P_2 = 0,3$ бар. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии.

3.36. Влажный водяной пар с начальным давлением $P_1 = 20$ бар и степенью сухости $x_1 = 0,98$ дросселируется до давления $P_2 = 0,2$ бар. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях при помощи IS диаграммы. Определить изменение внутренней энергии.

3.37. В идеальной воздушной холодильной машине повышается давление воздуха от $P_1 = 0,98$ бар с температурой $t_1 = 18^\circ\text{C}$ до давления $P_2 = 2,3$ бар. Каковы температуры в конце сжатия и холодильный коэффициент ε ?

3.38. Во сколько раз повысится КПД цикла Карно, если температуру нагревателя t_1 увеличить с 700°C до 1500°C , а температуру холодильника t_3 понизить с 10°C до -35°C ? Нарисовать эти процессы на PV и TS диаграммах.

Задача 4

4.1. Определить удельный тепловой поток через бесконечную плоскую стенку, если толщина стенки $\delta = 10\text{мм}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, температура $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $t_2 = 200^\circ\text{C}$.

4.2. Определить температуру бесконечной плоской стенкой, если толщина стенки $\delta = 20\text{мм}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 1,5 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, удельный тепловой поток неё 35 кВт/м^2 , температура с холодной стороны стенки $t_1 = 50^\circ\text{C}$.

4.3. Определить коэффициент теплопроводности бесконечной плоской стенки, если толщина стенки 3 см, удельный тепловой поток через неё $0,3 \text{ кВт/см}^2$, температуры $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $t_2 = 480^\circ\text{C}$.

4.4. Определить температуру внутренней стенки кирпичного дома, если температура на наружной поверхности -10°C , коэффициент теплопроводности кирпичной кладки $\lambda = 0,475 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, толщина стенки $\delta = 0,2\text{м}$. Тепловой поток через стенку $Q = 1,7\text{кВт}$, площадь стены: $F = 20\text{м}^2$.

4.5. Определить необходимую толщину стены кирпичного дома, если температура внутренней стенки 20°C , температура на наружной поверхности -30°C , коэффициент теплопроводности кирпичной кладки $\lambda = 0,46 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, тепловой поток через стену с площадью $F = 35\text{м}^2$ равен 2 кВт .

4.6. Определить плотность теплового потока через плоскую трёхслойную стенку, если толщина первого слоя $\delta_1 = 20\text{мм}$, второго слоя $\delta_2 = 2\text{мм}$, третьего слоя $\delta_3 = 10\text{мм}$. Тепловое сопротивление контактов $R_K = 0,0003 \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}$. Коэффициенты теплопроводности слоёв: $\lambda_1 = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $\lambda_2 = 200 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $\lambda_3 = 30 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$. Температуры поверхностей: $t_1 = 950^{\circ}\text{C}$, $t_4 = 200^{\circ}\text{C}$.

4.7. Определить погонный тепловой поток цилиндрическую стенку, коэффициент теплопроводности $\lambda = 34,9 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, внутренний диаметр трубы $d = 0,18\text{м}$; толщина стенки $2,5\text{ мм}$, $t_1 = 1200^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 600^{\circ}\text{C}$.

4.8. Определить минимальную толщину трубы с внутренним диаметром $d = 0,5\text{м}$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, для того чтобы при температуре внутренней поверхности трубы 200°C , при погонном тепловом потоке $q_l = 5\text{ кВт/м}$, обеспечить температуру наружной стенки не более 40°C .

4.9. Определить температуру t'_2 двухслойной цилиндрической стенки, внутренний диаметр $d_1 = 0,18\text{м}$; толщина первой стенки $2,5\text{ мм}$, толщина второй стенки $3,0\text{ мм}$. Коэффициенты теплопроводности стенок $\lambda_1 = 23,7 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ и $\lambda_2 = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$. Тепловое сопротивление контакта между стенками $R_{K1} = 0,000153 \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}$. Температуры стенок $t_1 = 400^{\circ}\text{C}$, $t_3 = 800^{\circ}\text{C}$.

4.10. Определить тепловое сопротивление контакта в двухслойной цилиндрической стенкой с внутренним диаметром $d_1 = 0,6\text{м}$; толщина первой стенки 5 мм , толщина второй стенки 8 мм . Коэффициенты

теплопроводности стенок $\lambda_1 = 44,2 \frac{Вт}{мК}$ и $\lambda_2 = 3,4 \frac{Вт}{мК}$. Температуры стенок $t_1 = 800^\circ C$, $t_3 = 50^\circ C$. Плотность теплового потока $q_l = 0,5 МВт/м$.

4.11. Определить температуру внутренней холодной поверхности шаровой стенки с диаметром $0,2 м$, если толщина стенки $4 мм$, коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda = 30 \frac{Вт}{мК}$, температура наружной стенки $600^\circ C$, тепловой поток $Q = 40 кВт$.

4.12. Определить плотность теплового потока через наружную поверхность шаровой стенки с диаметром $0,3 м$, толщиной $0,05 м$, коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda = 45 \frac{Вт}{мК}$, температура наружной стенки $900^\circ C$, внутренней $600^\circ C$.

4.13. Определить число Прандтля для жидкости с динамической вязкостью $\mu = 0,259 \cdot 10^{-3} Па \cdot с$, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,685 \frac{Вт}{мК}$ и теплоёмкостью $c_p = 4,233 \frac{кДж}{кгК}$.

4.14. Определить коэффициент теплоотдачи плоской пластины на длине $0,5 м$, омываемой потоком воды со скоростью $0,01 м/с$, теплоёмкостью $c_p = 4,195 \frac{кДж}{кгК}$, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,674 \frac{Вт}{мК}$, кинематической вязкостью $\nu = 0,365 \cdot 10^{-6} м^2/с$, плотностью $\rho = 971,8 кг/м^3$.

4.15. Определить температуру плоской стенки на длине $0,1 м$, омываемой потоком жидкости с температурой $t_f = 200^\circ C$, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,6 Вт/м \cdot К$, с числом Прандтля $1,75$, числом Рейнольдса $5 \cdot 10^5$, удельным тепловым потоком $82 кВт/м^2$.

4.16. Определить коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании плоского цилиндра с диаметром $0,001 м$ потоком воздуха со скоростью $0,08 м/с$, кинематической вязкостью $\nu = 16 \cdot 10^{-6} м^2/с$ и числом Прандтля $0,7$.

4.17. Определить число Нуссельта при поперечном обтекании плоского цилиндра с диаметром $0,05 м$ потоком газа со скоростью $0,3 м/с$, кинематической вязкостью $\nu = 20 \cdot 10^{-6} м^2/с$ и числом Прандтля $0,7$.

4.18. Определить, как изменится коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании плоского цилиндра с диаметром $0,02 \text{ м}$ воздухом ($\nu = 14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\text{Pr} = 0,705$) при изменении его скорости с $0,3 \text{ м/с}$ до $1,2 \text{ м/с}$.

4.19. Определить температуру цилиндра диаметром 25 см , обтекаемого поперечным потоком горячей жидкости ($\nu = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_f = 0,684 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $\text{Pr}_f = 1,15$, $\text{Pr}_w = 1,47$) со скоростью $1,2 \text{ м/с}$, $t_f = 150^\circ \text{C}$, удельный тепловой поток $1,776 \text{ МВт/м}^2$.

4.20. Определить температуру стенки цилиндрической трубы, омываемой потоком воздуха с температурой $t_f = 300^\circ \text{C}$, скорость потока 50 м/с , диаметр трубы $d = 0,150 \text{ м}$, коэффициент кинематической вязкости $\nu = 48,20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Принимаем, что число Прандтля у стенки и в ядре потока $0,71$, $\lambda_f = 0,0265 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $q_l = 10 \frac{\text{кВт}}{\text{м}}$.

4.21. Определить погонный тепловой поток от жидкости ($\rho = 890 \text{ кг/м}^3$) к стенкам трубы диаметром $d = 30 \text{ мм}$, температура стенки $T_w = 473 \text{ К}$ температура потока $T_f = 273 \text{ К}$, скорость течения воды $W = 0,12 \text{ м/с}$, $\text{Pr}_f = 13,5$; $\text{Pr}_w = 0,945$. Коэффициент теплопроводности $\lambda_f = 0,558 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, коэффициент динамической вязкости $\mu = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

4.22. Определить погонный тепловой поток от жидкости к стенкам трубы диаметром $d = 34 \text{ мм}$, температура стенки $t_w = 315^\circ \text{C}$, температура потока $t_f = 500^\circ \text{C}$, скорость течения воды $W = 15 \text{ м/с}$, $\text{Pr}_f = 0,89$; $\text{Pr}_w = 4,31$. Коэффициент теплопроводности $\lambda_f = 0,645 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, коэффициент кинематической вязкости $\nu = 0,15 \text{ мм}^2/\text{с}$.

4.23. Определить коэффициент теплоотдачи в двух трубах $d_1 = 0,2 \text{ м}$ и $d_2 = 0,1 \text{ м}$. По трубам течёт воздух $m = 0,5 \text{ кг/с}$ с давлением 10 атм , коэффициентом теплопроводности $\lambda_f = 0,0265 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, температурой $t_f = 310^\circ \text{C}$, температура стенки $t_w = 26^\circ \text{C}$, удельная теплоёмкость воздуха $c_p = 1004,5 \text{ Дж/кгК}$. Динамическую вязкость воздуха определить по формуле

$$\mu = \frac{4,22}{100000} \left(\frac{T}{1000} \right)^{0,66}, \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

4.24. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток на единицу длины в поперечном потоке воздуха ($\nu = 15 \text{ мм}^2/\text{с}$, $\lambda = 2,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $\text{Pr}_f = 0,703$; $\text{Pr}_w = 0,692$) для трубы диаметром 30 мм, если температура ее поверхности 80°C , температура воздуха 20°C и скорость 5 м/с .

4.25. Температура наружной поверхности охлаждаемой рабочей лопатки турбины $t_{w1} = t_{f1} = 650^\circ\text{C}$. Температура основного материала лопатки $t_{w2} = 630^\circ\text{C}$. Теплопроводность материала теплозащитного покрытия лопатки $\lambda = 8,41 + 0,0186t^\circ\text{C} [\text{Вт/мК}]$. Толщина теплозащитного покрытия $2,5 \text{ мм}$. Определить количество тепла, которое надо отводить от единичной поверхности лопатки.

4.26. В вертикальной трубе квадратного сечения ($a = 50 \text{ мм}$), свободно движется снизу вверх воздух ($\nu = 25 \text{ мм}^2/\text{с}$, $\lambda = 3,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $c_p = 1004,5 \text{ Дж/кгК}$). Определить коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке трубы, если средняя скорость воздуха $1,0 \text{ м/с}$, температура воздуха на входе 190°C , на выходе 50°C , средняя температура стенки 40°C .

4.27. Определить коэффициент теплоотдачи вертикальной стенки высотой 2 м воздуху, если средняя температура стенки 120°C , а температура воздуха вдали от стенки 20°C ($\nu = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda = 2,96 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$, $\text{Pr} = 0,694$).

4.28. Определить собственную излучательную способность стенки летательного аппарата с коэффициентом излучения $4,53 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$, если температура поверхности стенки 1027°C . Определить также степень черноты стенки и длину волны, отвечающей максимуму интенсивности излучения.

4.29. Определить лучистый теплообмен между стенками сосуда Дьюара, внутри которого хранится жидкий кислород, если на наружной поверхности внутренней стенки температура $t_1 = -183^\circ\text{C}$, а на внутренней поверхности наружной стенки $t_2 = 17^\circ\text{C}$. Стенки сосуда покрыты слоем серебра, степень черноты которого равна 0,02; площади поверхностей стенок $F_1 = F_2 = 0,1 \text{ м}^2$.

4.30. Определить лучистый тепловой поток между двумя стальными близко расположенными параллельными квадратными пластинами ($a = 300 \text{ мм}$), с температурами $t_1 = 300^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Степени черноты $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,24$.

4.31. Стальная заготовка с начальной температурой 27°C поставлена в муфельную печь, температура стенок которой 927°C . Определить, какой

тепловой поток воспринимается заготовкой (в начальный период) за счет лучистой энергии, если отношение поверхностей заготовки и муфельной печи $F_1/F_2 = 1/30$, а степень черноты заготовки и стенок печи соответственно равны 0,7 и 0,85.

4.32. На твёрдое тело с температурой $T = 1200\text{K}$ падает поток с плотностью излучения $E_{\text{пад}} = 5,8 \cdot 10^4 \text{Вт/м}^2$, плотность отражённого излучения $E_{\text{отп}} = 1,8 \cdot 10^4 \text{Вт/м}^2$. Определить плотность потока собственного излучения.

4.33. Определить температуры поверхностей плоской алюминиевой пластины ($\lambda = 209 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$, $\delta = 20 \text{мм}$), омываемой с двух сторон потоком воздуха с температурами $t_{f1} = 280^\circ\text{C}$, $t_{f2} = 120^\circ\text{C}$, коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1 = 15 \text{Вт/м}^2\text{К}$, $\alpha_2 = 8 \text{Вт/м}^2\text{К}$.

4.34. Определить тепловой поток через плоскую стальную пластину ($\lambda = 32 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$, $\delta = 10 \text{мм}$), омываемой с двух сторон потоком воздуха с температурами $t_{f1} = 20^\circ\text{C}$, $t_{f2} = 350^\circ\text{C}$, коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1 = 5 \text{Вт/м}^2\text{К}$, $\alpha_2 = 30 \text{Вт/м}^2\text{К}$.

4.35. Определить сопротивление плоских пластин из меди ($\lambda = 390 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$, $\delta = 5 \text{мм}$) и железа ($\lambda = 74 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$, $\delta = 10 \text{мм}$), омываемых со стороны железа воздухом ($\alpha_1 = 20 \text{Вт/м}^2\text{К}$), а со стороны меди – жидкостью ($\alpha_2 = 150 \text{Вт/м}^2\text{К}$). Тепловое сопротивление контакта $R_K = 0,0002 \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}$.

4.36. Определить тепловой поток через трубу ($d_{\text{внут}} = 0,2\text{м}$, $\delta = 3 \text{мм}$, $\lambda = 40 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$), внутри которой течёт вода с температурой $t_{\text{вод}} = 80^\circ\text{C}$ ($\alpha_{\text{вод}} = 60 \text{Вт/м}^2\text{К}$), а с наружи труба омывается воздухом с температурой $t_{\text{возд}} = -20^\circ\text{C}$ ($\alpha_{\text{возд}} = 60 \text{Вт/м}^2\text{К}$).

4.37. Определить температуру внутренней поверхности трубы ($d_{\text{нар}} = 0,4\text{м}$, $\delta = 10 \text{мм}$, $\lambda = 5 \text{Вт/м}\cdot\text{К}$), внутри которой течёт вода с температурой 80°C ($\alpha_{\text{вод}} = 100 \text{Вт/м}^2\text{К}$), если температура на наружной поверхности трубы 45°C .