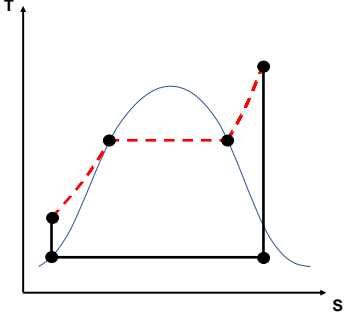
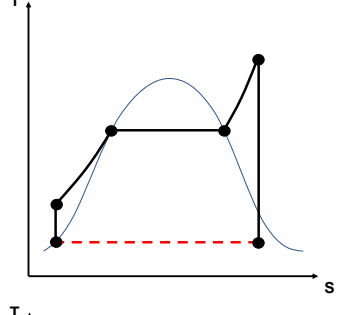
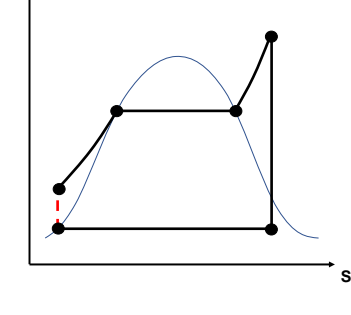
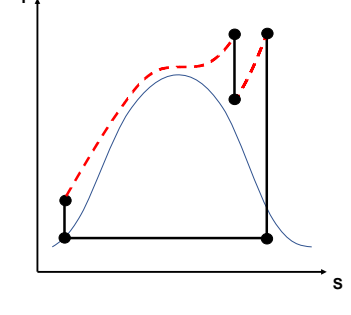
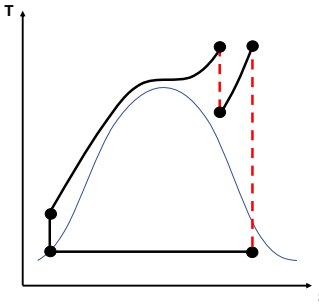


Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру

Блок №1 ТЭС: схемы, системы и агрегаты

Задание экзаменационного билета № 1.1 (4 балла)

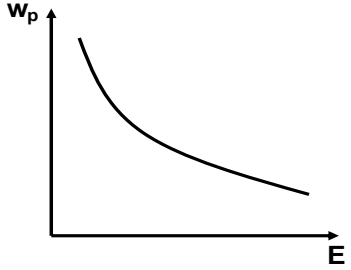
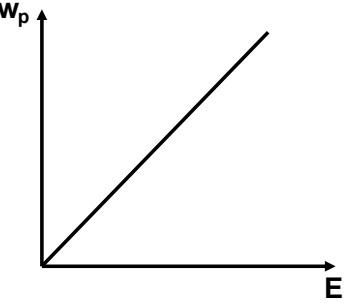
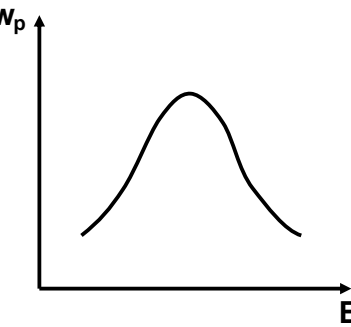
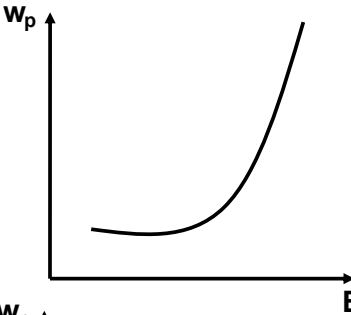
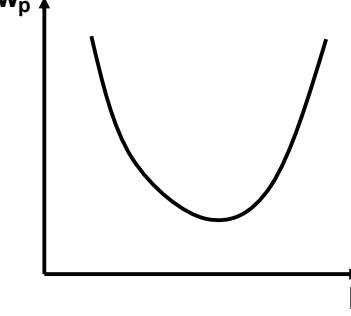
№	Задание	Варианты ответа	Ответ
1.1.1	<p>Укажите на термодинамическом цикле Ренкина процесс, характеризующий работу парового котла докритического давления.</p>	<p>1. </p> <p>2. </p> <p>3. </p> <p>4. </p>	<p>Ответ</p>

		<p>5.</p> 	
1.1.2	Выберете ложное утверждение.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Паровой котел — это техническое сооружение, в котором для получения пара требуемых параметров используют теплоту выделяющегося при сгорании органического топлива. 2. Паровой котел представляет собой систему теплообменников для производства пара из непрерывно поступающей в него воды путем использования тепла, выделяющегося при сжигании топлива, которое подается в топку вместе с необходимым для горения воздухом. 3. Паровой котел предназначен для преобразования потенциальной энергии рабочей среды в полезную работу термодинамического цикла Ренкина. 4. Поверхности нагрева - предназначены для передачи теплоты от образующихся при сжигании топлива уходящих газов к воде, пароводяной смеси, пару или воздуху. 5. Поверхности нагрева подразделяются на радиационные, конвективные и радиационно-конвективные (полурадиационные). 	
1.1.3	Выберете верное продолжение утверждения «Газовоздушный тракт с уравновешенной тягой включает следующее вспомогательное оборудование:...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дутьевой вентилятор, дымосос, циркуляционный насос. 2. Дутьевой вентилятор, фестон, дымовая труба. 3. Система пылеприготовления, золоуловитель, система шлакоудаления, дымовая труба. 4. Воздухоподогреватель, топочная камера, горизонтальный газоход, конвективная шахта. 5. Дутьевой вентилятор, калорифер, дымосос, система газоочистки, дымовая труба. 	
1.1.4	Выберете верное утверждение. «Котлы высокого давления - ...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. до 40 кгс/см² 2. 40–100 кгс/см² 3. 100–180 кгс/см² 4. 255 кгс/см² 	

		5. >300 кгс/см ²	
1.1.5	Укажите классификацию котлов по расположению теплоносителей внутри котла.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Газотрубные котлы; водотрубные котлы. 2. Паровые; водогрейные. 3. Котлы с естественной циркуляцией; с многократно принудительной циркуляцией; прямоточные котлы. 4. Котлы с уравновешенной тягой; под наддувом. 5. Твёрдотопливные; газовые; сжигающие жидкое топливо; комбинированные. 	
1.1.6	Выберете верное продолжение утверждения: «Барабан в паровых котлах докритического давления предназначен для...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перегрева пара до требуемых параметров. 2. Удаления агрессивных газов. 3. Сепарации воды и водяного пара. 4. Повышения термического КПД цикла. 5. Организации промежуточного перегрева пара. 	
1.1.7	Выберете верный ответ. Какая поверхность нагрева состоит из змеевиков?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Конвективный пароперегреватель низкого давления. 2. Трубчатый воздухоподогреватель. 3. Экраны топочной камеры. 4. Ширмовый пароперегреватель. 5. Регенеративный воздухоподогреватель. 	
1.1.8	Выберете верное продолжение утверждения: «Плавниковые трубы используются для...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Организации движения воздуха в регенеративном воздухоподогревателе. 2. Создания газоплотного экрана топочной камеры. 3. Повышения эффективности системы шлакоудаления. 4. Защиты ширмового пароперегревателя от шлакования. 5. Повышения кратности циркуляции. 	
1.1.9	Выберете верное продолжение утверждения: «Холодная воронка предназначена для...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снижения присосов холодного воздуха. 2. Организации жидкого шлакоудаления. 3. Организации факельного сжигания топлива. 4. Защиты топочных экранов. 5. Организации твердого шлакоудаления. 	
1.1.10	Ответьте на вопрос. Какое вспомогательное оборудование обеспечивает движение среды в контуре принудительной циркуляции барабанного котла происходит?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Питательный насос. 2. Тягодутьевые машины. 3. Выносные циклоны. 4. Конденсатные насосы. 5. Верного ответа нет. 	

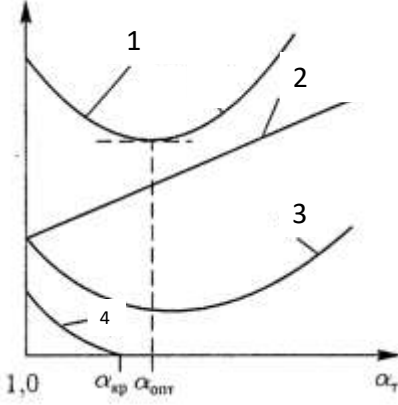
Задание экзаменационного билета № 1.2 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
1.2.1	Выберете верное продолжение утверждения «Присосы холодного воздуха...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Способствуют снижению коэффициента избытка воздуха в уходящих газах. 2. В топочной камере приводят к увеличению нагрузки дутьевого вентилятора в газов-воздушном тракте, работающем «под наддувом». 3. Приводят к увеличению паропроизводительности котла. 4. Снижают эффективность работы котла. 5. Способствуют повышению теоретического объема воздуха. 	
1.2.2	Массовое паросодержание на выходе из труб топочных экранов барабанного котла $x=0.1$. Чему равна кратность циркуляции контура?	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1 2. 100 3. 10 4. 1,05 5. 0,9 	
1.2.3	Выберите элементарный состав топлива, определяемый термином «сухая масса»	<ol style="list-style-type: none"> 1. CHONSAW 2. CONSAW 3. CHONSA 4. CHONSW 5. CHONS 	
1.2.4	Термин «тепловое напряжения сечения топки» используется для:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определения количества теплоты, падающее на поверхности нагрева топочных экранов. 2. Для определения высоты топочной камеры. 3. Для определения искривления аэродинамического выступа. 4. Для определения глубины топочной камеры. 5. Для расчета низшей теплоты сгорания топлива. 	
1.2.5	Кислородомер на выходе из котла показывает 4,2% в уходящих газах. Каков избыток воздуха?	<ol style="list-style-type: none"> 1. 4,2 2. 0,75 3. 1,235 4. 1,766 5. 1,42 	

<p>1.2.6</p>	<p>Укажите верную зависимость скорости реакции горения w_p от энергии активации E.</p>	<p>1. </p> <p>2. </p> <p>3. </p> <p>4. </p> <p>5. </p>	
<p>1.2.7</p>	<p>Чем отличается понятие «движущий напор контура» от понятия «полезный напор контура»?</p>	<p>1. Полезный напор контура учитывает динамические сопротивления контура, в то время как движущий напор этого не учитывает</p> <p>2. Полезный напор контура учитывает</p>	

		<p>паросодержание в котловой воде в отличие от движущего</p> <p>3. Движущий напор является базовой характеристикой, в то время как понятие полезный напор является частным случаем при расчете контура</p> <p>4. Понятие «движущего напора» относится к котлам с естественной циркуляцией, когда понятие «полезного напора» к котлам с принудительной</p> <p>5. Движущий напор учитывает высоту отдельных участков элементов контура, в то время как полезный напор этого не учитывает</p>	
1.2.8	Низкотемпературная коррозия возникает:	<p>1. В топочной камере при высокой сернистости топлива из-за недостатка воздуха.</p> <p>2. В воздухоподогревателе при высокой сернистости топлива из-за совместной конденсации поров воды и оксида серы.</p> <p>3. В калорифере из-за низкой температуры подогреваемого воздуха.</p> <p>4. В экономайзере при спорадическом кипении теплоносителя.</p> <p>5. В горизонтальном газоходе при работе котла на мазуте.</p>	
1.2.9	Выберете верное продолжение утверждения «Шлакования поверхностей нагрева в горизонтальном газоходе исключается, если...»	<p>1. Температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры выше температуры начала шлакования.</p> <p>2. Температура продуктов сгорания в зоне активного горения больше температуры начала шлакования.</p> <p>3. Температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры ниже температуры начала шлакования.</p> <p>4. Используется футеровка топочных экранов.</p> <p>5. Верного ответа нет.</p>	
1.2.10	Как изменится скорость циркуляции w_0^p , если воспринятый тепловой поток трубами экранов топочной камеры упадет $q_B \downarrow$?	<p>1. Не изменится.</p> <p>2. Увеличится.</p> <p>3. Уменьшится.</p>	

Задание экзаменационного билета № 1.3 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
1.3.1	По какому из приведенных уравнений можно рассчитать КПД прямоточного котла по прямому балансу КПД?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})+D_{вт}(h_{вт}''-h_{вт}')}{B_K Q_H^p}$; 2. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})+D_{вт}(h_{вт}''-h_{вт}')+G_{пр}(h_s-h_{пв})}{B_K Q_H^p}$; 3. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})}{B_K Q_H^p}$; 4. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})+D_{вт}(h_{вт}''-h_{вт}')+G_{пр}(h_s-h_{пв})}{Q_H^p}$; 5. $\eta = \frac{D(h_{вт}''-h_{вт}')+G_{пр}(h_s-h_{пв})}{B_K Q_H^p}$. 	
1.3.2	<p>Какая кривая показывает зависимость тепловых потерь с химическим недожогом от коэффициента избытка воздуха на выходе из топки?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1 2. 2 3. 3 4. 4 5. Верного ответа нет. 	
1.3.3	Энтальпия уходящих газов $H_{ух}=1653$ кДж/кг, энтальпия холодного воздуха $H_{хв}=342$ кДж/кг, располагаемая теплота сгорания топлива $Q_{рр}=23400$ кДж/кг. Чему равны потери тепла с уходящими газами?	<ol style="list-style-type: none"> 1. 6,5% 2. 63,6% 3. 17,85% 4. 5,6% 5. 24,2% 	

1.3.4	Что учитывает располагаемая теплота сгорания топлива?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тепло воздуха при его предварительном подогреве вне котла (в калорифере) $Q_{внш}$ 2. Физическое тепло топлива при его предварительном подогреве вне котла (для мазута) $Q_{тл}$ 3. Физическое тепло пара, поступающего в форсунки $Q_{п}$ 4. Тепло, затрачиваемое на разложение карбонатов, содержащихся в золе $Q_{к}$. 5. Все вышеперечисленное. 	
1.3.5	Барaban котла имеет две перегородки (по одной с каждой стороны) и по два циклона, соединенных последовательно с барабаном и между собой. Сколько ступеней испарения реализовано в котле?	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1 2. 2 3. 3 4. 4 5. 5 	
1.3.6	Выберете верное продолжение утверждения: «Тепловые потери с механическим недожогом с ростом коэффициента избытка воздуха на выходе из топки...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не изменятся. 2. Увеличатся. 3. Уменьшатся. 4. Сначала уменьшатся, затем увеличатся. 5. Сначала увеличатся, затем уменьшатся. 	
1.3.7	Назначение инерционной сепарации.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разделение воды и шлама в двухфазном потоке; 2. Разделение воды и пара а пузырьковом режиме; 3. Сепарация воды и пара при растопке котла СКД 4. Сепарация воды и пара в пароперегревательном тракте; 5. Сепарация воды и пара в парокапельном потоке 	
1.3.8	Выберете верное продолжение утверждения: «Коэффициент распределения примесей в двухфазной равновесной системе показывает...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отношение концентрации растворенного вещества в паре к концентрации растворенного вещества в воде. 2. Произведение коэффициента выноса примесей в пар и концентрации растворенного вещества в воде. 3. Отношение массового расхода пара и воды. 4. Отношение объемного расхода пара и воды. 5. Произведение концентрации растворенного вещества в паре и 	

		массового расхода пара.	
1.3.9	Выберете верное продолжение утверждения: «Доля тепловых потерь через обмуровку котла с увеличением номинальной паропроизводительности...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не меняется. 2. Увеличивается. 3. Уменьшается. 4. Сначала увеличивается, затем уменьшается. 5. Сначала уменьшается, затем увеличивается. 	
1.3.10	Выберете верное продолжение утверждения: «Непрерывная продувка в барабанных котлах предназначена для...»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Регулирования температуры перегретого пара. 2. Поддержания качества котловой воды. 3. Сепарации воды и водяного пара. 4. Поддержания качества питательной воды. 5. Увеличения концентрации примесей в паре. 	

Пример выполнения задания 1.2.4

1. Ответ неверный: приведено значение плотности теплового потока на единицу площади поверхности нагрева
2. Ответ неверный: для определения высоты ТК используется величина теплового напряжения объема ТК
3. Ответ неверный: профиль аэродинамического выступа рассчитывается путем математического моделирования аэродинамики ТК
4. Ответ верный.
5. Ответ неверный: низшая теплота сгорания топлива является исходной для расчета теплового напряжения сечения ТК, а не наоборот.

Задание экзаменационного билета № 1.4 (4 балла)

1.4.1 Выброс каких загрязняющих веществ сильно зависит от режима сжигания топлива?

Ответ обосновать.

1. SO₂, зола;
2. NO_x, CO;
3. CO, SO₂;
4. NO_x, SO₂.

1.4.2 Какие загрязняющие вещества образуются при сжигании природного газа? Ответ обосновать.

1. SO₂, зола;
2. NO_x, CO;
3. CO, SO₂;
4. NO_x, SO₂.

1.4.3 Какие загрязняющие вещества выбрасываются в атмосферу при сжигании угля?

Ответ обосновать.

1. SO₂, зола;
2. NO_x, CO;
3. CO, SO₂.
4. NO_x, SO₂, зола.

1.4.4 Для каких метеорологических условий рассчитывается высота дымовых труб? Ответ обосновать.

1. Для среднегодовых;
2. Для аномальных;
3. Для типичных;
4. Для неблагоприятных.

1.4.5 Если на ТЭС вместо двух дымовых труб установить одну такой же высоты, как изменятся максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ, создаваемые выбросами ТЭС? Ответ обосновать.

1. Останутся без изменения;
2. Возрастут;
3. Снизятся.

1.4.6 Что понимается под выбросами NO_x ? Ответ обосновать.

1. $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}_5$;
2. $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{N}_2\text{O}$;
3. NO и NO_2 в пересчете на NO_2 ;
4. $\text{N}_2\text{O} + \text{NO}_2$ в пересчете на NO_2 .

1.4.7. Какой механизм образования оксидов азота преобладает при сжигании твердого топлива в топке с твердым шлакоудалением? Ответ обосновать

1. Механизм образования топливных оксидов азота;
2. Механизм образования термических оксидов азота;
3. Механизм образования быстрых оксидов азота.

1.4.8 Массовый выброс оксидов азота не зависит от:

1. От температуры уходящих газов;
2. От избытка воздуха в зоне горения;
3. От максимальной температуры в зоне горения.

1.4.9 Выбросы оксидов серы в атмосферу зависят:

1. От температуры в зоне горения;
2. От избытка воздуха в зоне горения.
3. От содержания серы в топливе;
4. От температуры и от избытка воздуха в зоне горения.

1.4.10. Как изменятся выбросы оксидов азота при переводе котла с жидкого на твердое шлакоудаление при прочих равных условиях? Ответ обосновать

1. Выбросы NO_x возрастут;
2. Выбросы NO_x снизятся;
3. Выбросы NO_x не изменятся.

Задание экзаменационного билета № 1.5 (4 балла)

Задание 1.5.1 Какой тип золоуловителей применяется на котлах большой мощности? Ответ обосновать.

1. Батарейный циклон;
2. Электрофильтр;
3. Мокрый золоуловитель с трубой Вентури.

Задание 1.5.2 Какие частицы золы хуже улавливаются в электрофильтре? Ответ обосновать.

1. Крупные;
2. Мелкие;
3. Одинаково.

Задание 1.5.3 При сжигании какого вида топлива применение рециркуляции дымовых газов не эффективно для снижения выбросов оксидов азота? Ответ обосновать.

1. Угля;
2. Мазута;
3. Угля и мазута;
4. Природного газа.

Задание 1.5.4 Какая система водоснабжения обеспечивает более высокий коэффициент полезного действия на ТЭС?

1. Обратная с градирнями;
2. Обратная с прудом охладителем;
3. Прямоточная;
4. С брызгальными устройствами.

Задание 1.5.5 Какой период осреднения устанавливается для максимально-разовых ПДК в нашей стране?

1. 1 секунда;
2. 20 секунд;
3. 10 минут;
4. 20-30 минут;
5. 1 час.

Задание 1.5.6 Как изменится выброс золы в атмосферу, если степень золоулавливания повысилась с 90 до 99 %?

1. Снизится на 9 %;
2. Снизится в 9 раз;
3. Снизится в 10 раз.

Задание 1.5.7 Чему равна доля золы, уносимой из камерной топки при сжигании мазута?

Ответ обосновать

1. 0,95.
2. 0,5.
3. 1.

Задание 1.5.8 Что измеряют с помощью шумомера?

1. Уровень звуковой мощности источника шума;
2. Уровень интенсивности шума;
3. Уровень звукового давления.

Задание 1.5.9 Как изменится уровень звукового давления в расчётной точке при замене дымовой трубы с газоотводящим металлическим стволом на дымовую трубу с кирпичной футеровкой? Ответ обосновать

1. Уменьшится.
2. Останется без изменений.
3. Увеличится.

Задание 1.5.10 Определить суммарный уровень звукового давления (УЗД) в расчётной точке при работе двух источников шума. При работе 1-го источника УЗД в расчётной точке составляет 50 дБ, при работе 2-го – 110 дБ. Ответ обосновать.

1. 110 дБ;
2. 80 дБ;
3. 50 дБ;
4. 160 дБ.

Задание экзаменационного билета № 1.6 (10 баллов)

Задание 1.6.1

Типы тепловых электростанций, простейшие тепловые схемы паротурбинных ТЭС.

Задание 1.6.2

Показатели тепловой экономичности КЭС.

Задание 1.6.3

Пути повышения тепловой экономичности КЭС.

Задание 1.6.4

Принципиальная тепловая схема паротурбинной установки КЭС, назначение основных элементов тепловой схемы.

Задание 1.6.5

Системы технического водоснабжения: прямоточные, оборотные. Сравнение различных систем технического водоснабжения

Задание 1.6.6

Раздельная и комбинированная выработка электрической и тепловой энергии. Отпуск теплоты от ТЭЦ, схемы отпуска тепла различным потребителям.

Задание 1.6.7

Регенеративные подогреватели на ТЭС, место их включения в тепловую схему ТЭС.

Задание 1.6.8

Схемы включения питательных и конденсатных насосов в тепловую схему ТЭС. Виды приводов насосов.

Задание 1.6.9

Газотурбинные ТЭС. Термодинамический цикл Брайтона. Простейшая тепловая схема энергетической ГТУ открытого цикла.

Задание 1.6.10

Промежуточный перегрев пара на КЭС, его влияние на тепловую экономичность.

Пример выполнения задания 1.6.1

Тепловая электростанция (ТЭС) – электростанция, где используется химическая энергия горения органических топлив: твердого (уголь, торф, сланцы), жидкого (мазут), газообразного (газ)

Тепловые электрические станции подразделяют на:

- **конденсационные** электрические станции (КЭС), предназначенные для выработки только электрической энергии. Крупные КЭС районного значения получили название государственных районных электростанций (ГРЭС);

- **теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)**, предназначенные для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии (в виде горячей воды и пара).

В свою очередь КЭС и ТЭЦ оборудованы паросиловыми турбоустановками (работающими по циклу Ренкина):

1) Докритического давления:

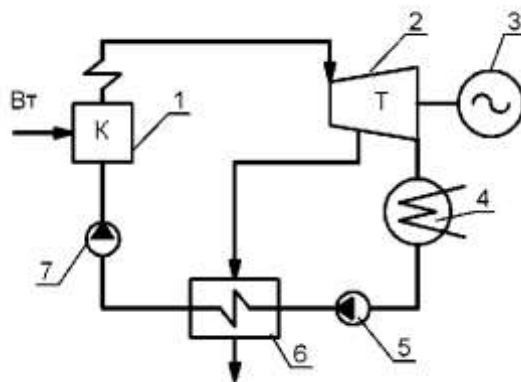
- без промежуточного перегрева пара, например, К-100-90 (КЭС), Т-100-130 (ТЭЦ);

- с промежуточным перегревом пара, например, К-200-130 (КЭС), Т-180-130 (ТЭЦ).

2) Сверхкритического давления с промежуточным перегревом пара, например, К-300-240 (КЭС), Т-250-240 (ТЭЦ).

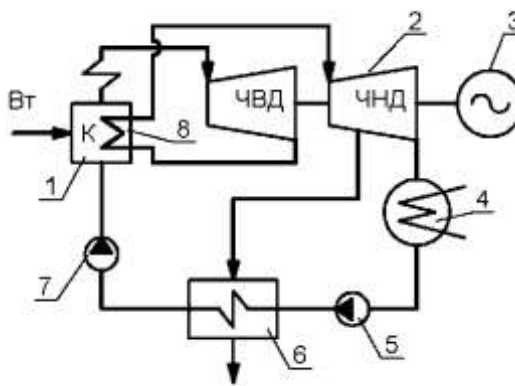
Простейшие тепловые схемы КЭС

Без промежуточного перегрева пара



- 1 - паровой котел;
- 2 - паровая турбина;
- 3 - электрический генератор;
- 4 - конденсатор отработавшего пара турбины;
- 5 - конденсатный насос;
- 6 - регенеративный подогреватель;
- 7 - питательный насос.

С промежуточным перегревом пара



- 1 - паровой котел;
- 2 - паровая турбина;
- 3 - электрический генератор;
- 4 - конденсатор отработавшего пара турбины;
- 5 - конденсатный насос;
- 6 - регенеративный подогреватель;
- 7 - питательный насос;
- 8 - промежуточный перегрев пара.

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) предназначены:

1) Для снабжения паром промышленных предприятий и оборудованы турбоустановками

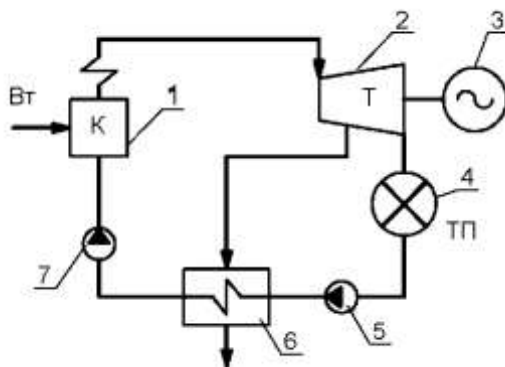
- с конденсацией и производственным отбором пара (П-6-35/5, ПТ-80-130);

- с противодавлением (Р-100-130) – **промышленные ТЭЦ.**

2) Для подогрева сетевой воды, поступающей к потребителям для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения и оборудованы турбоустановками с конденсацией и теплофикационными регулируемыми отборами (Т-100/110-130, Т-250-240) – **отопительные ТЭЦ.**

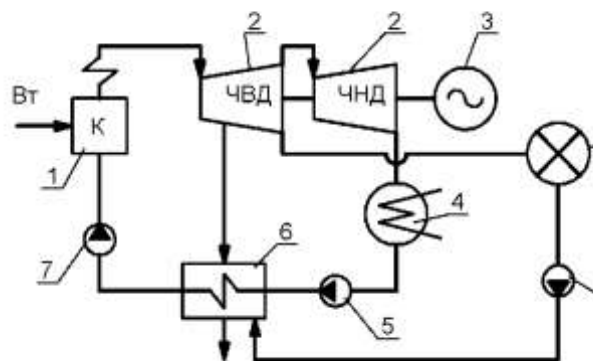
Простейшие тепловые схемы промышленной ТЭЦ

С противодавлением



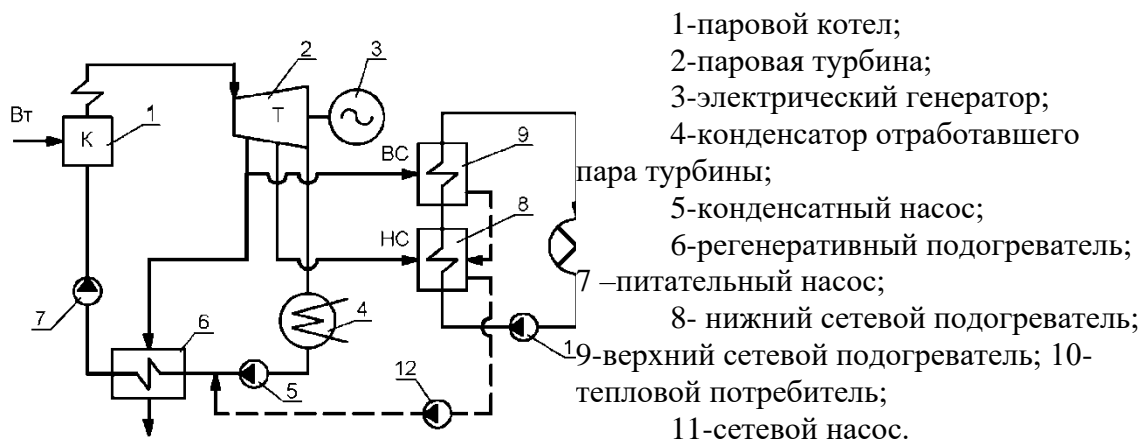
- 1 - паровой котел;
- 2 - паровая турбина;
- 3 - электрический генератор;
- 4 - промышленный потребитель пара;
- 5 - насос обратного конденсата с производства;
- 6 - регенеративный подогреватель;
- 7 – питательный насос.

С конденсацией и производственным отбором пара



- 1 - паровой котел;
- 2 - паровая турбина;
- 3 - электрический генератор;
- 4 - конденсатор отработавшего пара турбины;
- 5 - конденсатный насос;
- 6 - регенеративный подогреватель;
- 7 – питательный насос;
- 8- промышленный потребитель пара;
- 9- насос обратного конденсата с производства.

Простейшая тепловая схема отопительной ТЭЦ



Задание экзаменационного билета № 1.7 (10 баллов)

Задание 1.7.1

Конструкции поверхностных ПНД и ПВД ТЭС, их основные отличия.

Задание 1.7.2

Типы регенеративных подогревателей ТЭС. Преимущества, недостатки каждого типа.

Задание 1.7.3

Конструкции сетевых подогревателей ТЭС, назначение сетевых подогревателей.

Задание 1.7.4

Деаэраторы ТЭС, назначение. Изобразите конструктивную схему деаэрационной колонки любого типа.

Задание 1.7.5

Понятие недогрева в поверхностном теплообменном аппарате. График изменения температур теплоносителей.

Задание 1.7.6

Как выбирается скорость среды в трубопроводах ТЭС? Как рассчитывается внутренний диаметр трубопроводов?

Задание 1.7.7

Арматура ТЭС: назначение, типы, области применения.

Задание 1.7.8

Насосы ТЭС. Явления кавитации и помпажа в насосах.

Задание 1.7.9

Тягодутьевые машины ТЭС, их назначение и основные характеристики.

Задание 1.7.10

Мельницы для приготовления угольной пыли на ТЭС.

Пример выполнения задания 1.7.5

Недогрев характеризует термодинамическое совершенство подогревателя и определяет эффективность нагрева воды.

Недогрев – разность между температурой насыщения пара, определенной по давлению его на входе в подогреватель (в зону его конденсации), и температурой воды на выходе из подогревателя:

$$\vartheta = t_s - t_2$$

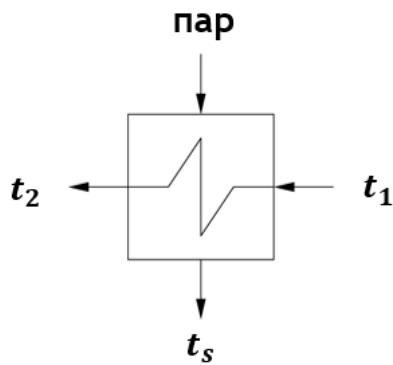


Рис. 1. Схема поверхностного подогревателя

Для схемы поверхностного подогревателя без охладителя пара и конденсата, приведённой на рисунке выше, график изменения температур теплоносителей выглядит следующим образом:

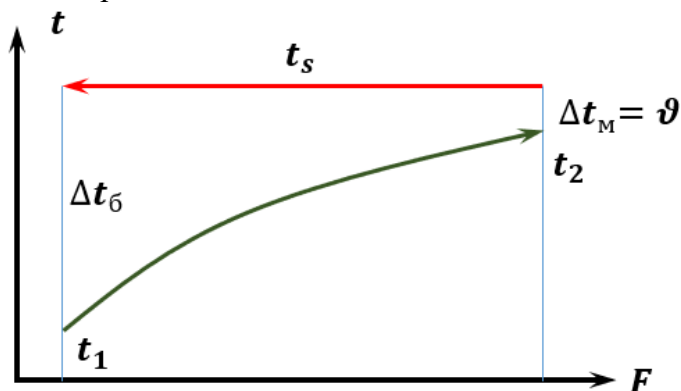


Рис. 2. График изменения температур теплоносителей

Значение номинального недогрева воды в ПНД и ПВД зависит наличия или отсутствия охладителя пара и обычно составляет:

- ПНД и ПВД без ОП: 3,0°С;
- ПНД с ОП: 2,0°С;
- ПВД с ОП: 1,5°С.

Приведённые значения недогревов могут корректироваться на основе технико-экономических расчётов тепловых схем при проектировании турбоустановок.

Недогрев в подогревателях поверхностного типа рассчитывается как:

$$\vartheta = (t_s - t_1) \cdot e^{-\frac{k \cdot F}{G_B \cdot c_p}}$$

(вывод формулы:

основное уравнение теплопередачи: $Q = k \cdot F \cdot \Delta t$, где температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_\theta - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_\theta}{\Delta t_M}\right)} = \frac{(t_s - t_1) - (t_s - t_2)}{\ln\left(\frac{t_s - t_1}{t_s - t_2}\right)} = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{t_s - t_1}{t_s - t_2}\right)}$$

– с другой стороны, $Q = G_B \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$

– из уравнений для Q выражают $\vartheta = t_s - t_2$.

Принимая во внимание, что $t_s - t_1 = \vartheta + (t_2 - t_1)$, недогрев можно также выразить

как:

$$\vartheta = \frac{(t_2 - t_1)}{e^{\frac{k \cdot F}{G_B \cdot c_p}} - 1}$$

Причины появления недогревов в поверхностных подогревателях:

1. Термическое сопротивление металла стенок труб.

Определяется толщиной стенки и свойствами металла

2. Отложения (редко актуально для ПНД и ПВД).

Зависят от вида и состава теплоносителя, его скорости, давления и температуры, содержания в нем загрязняющих веществ, а также от шероховатости стенки трубок и материала, из которого изготовлены трубки. Как правило, загрязнение происходит внутри теплообменных трубок, редко – загрязнения в межтрубном пространстве аппаратов.

- накипные отложения
- продукты коррозии
- механические
- биологические

3. Конденсация пара в присутствии воздуха.

Наличие в паровом пространстве неконденсирующихся газов снижает коэффициент теплоотдачи. По этой причине важна удовлетворительная работа системы отсоса воздуха из парового пространства. Во избежание повышения концентрации воздуха его необходимо удалять из подогревателя.

4. Сокращение поверхности теплообмена за счёт как затопления части трубной системы при повышенном уровне конденсата в корпусе подогревателя, так и отглушения дефектных трубок.

5. Повышенное аэродинамическое сопротивление паропроводов от турбины к подогревателям.

6. Протечки в водяных камерах между ходами.

7. Байпасирование части питательной воды помимо аппарата.

Задание экзаменационного билета № 1.8 (10 баллов)

Задание 1.8.1

Общая характеристика режимов работы теплофикационных турбин. Работа по тепловому графику. Изменение электрической мощности.

Задание 1.8.2

Режимы работы теплофикационных турбин по электрическому графику. Регулирование нагрузки.

Задание 1.8.3

Влияние изменение вакуума в конденсаторе турбины на изменение ее мощности.

Основные причины изменения вакуума в конденсаторе турбины.

Задание 1.8.4

Пусковые схемы энергоблоков и их назначение. Типы пусковых схем, общая характеристика и условия применения. Преимущества и недостатки.

Задание 1.8.5

Как изменится общий расход топлива и удельный расход условного топлива на конденсационном энергоблоке, если мощность турбины понизилась на 30% от номинальной. Параметры острого пара и пара промперегрева не изменились, вакуум в конденсаторе не изменился. Объяснить ответ.

Задание 1.8.6

Как изменится удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии на теплофикационной турбине, работавшей по тепловому графику, если температура прямой и обратной сетевой воды снизится на 10°C. При этом тепловая нагрузка останется неизменной. Объяснить ответ.

Задание 1.8.7

Как изменится удельный расход условного топлива на конденсационной турбине, если мощность турбины осталась неизменной, а температура циркулирующей воды на входе в конденсатор выросла на 5°C. Расход циркулирующей воды остался неизменным. Объяснить ответ. Потери топлива, тепла и электроэнергии на этапах пуска энергоблока. Основные факторы определяющие

потери топлива на пуск.

Задание 1.8.8

Как изменится удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии теплофикационной турбиной, работавшей по тепловому графику, если мощность турбины увеличилась на 20 МВт, а тепловая нагрузка и параметры отпуска тепла не изменились. Объяснить ответ.

Задание 1.8.9

Чем объяснить снижение экономичности турбоагрегата, по мере снижения нагрузки. Перечислить основные факторы. Объяснить ответ.

Задание 1.8.10

Классификация режимов пуска основного оборудования ТЭС. Общая характеристика

Пример выполнения задания 1.8.1

При работе по тепловому графику электрическая мощность турбоагрегата N изменяется в зависимости от требуемой тепловой нагрузки отборов турбины Q_t и параметров отпуска тепла. В этом случае регулируемую диафрагму полностью закрывают (или приоткрывают минимально) только для пропускания вентиляционного потока через ЧНД в конденсатор, обеспечивающего допустимый температурный уровень проточной части ЧНД. На рис.1. представлена упрощенная схема турбоагрегата

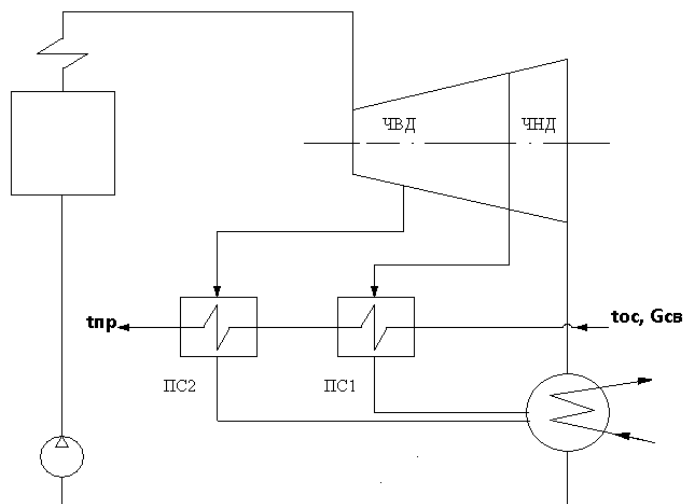


Рис. 1. Упрощенная схема турбоагрегата с регулируемым отбором пара для отпуска тепловой нагрузки

Изменение тепловой нагрузки может происходить за счет изменения расхода сетевой воды (или отпуска пара), при неизменных параметрах. Тогда изменение расхода сетевой воды приводит к изменению отпуска тепла, соответственно пропорциональному изменению расхода пара на турбину и изменению мощности.

$$Q_T^{отб} = G_{св} C_p (t_{пр} - t_{ос}).$$

Изменение тепловой нагрузки может происходить при неизменном расходе сетевой воды, но при изменении параметров отпуска тепла, росте или снижении температуры прямой и обратной сетевой воды. При росте параметров отпуска тепла (температуры прямой и обратной сетевой воды), давление в регулируемых отборах на сетевые подогреватели растет, теплоперепад основного потока пара уменьшается. При этом мощность турбины за счет увеличения расхода пара, как правило увеличивается, а удельный расход топлива на выработку электроэнергии будет расти. При снижении параметров отпуска тепла и снижении тепловой нагрузки, расход пара на турбину снижается и мощность турбины уменьшается. В

этом случае теплоперепад в турбине растет и удельный расход топлива, как правило, снижается.

Итог: При работе по тепловому графику, вырабатываемая турбиной электрическая мощность, определяется тепловой нагрузкой и параметрами отпуска тепловой нагрузки.

Работа с закрытой диафрагмой, по тепловому графику, наиболее экономична, с точки зрения использования топлива. В этом случае коэффициент использования теплоты топлива может достигать 80%. Экономичность достигается за счет максимального снижения потерь в холодном источнике (конденсаторе).

Задание экзаменационного билета № 1.9 (10 баллов)

Задание 1.9.1

Схема теплового пункта в закрытой водяной системе централизованного теплоснабжения с узлом учёта теплоты и присоединением систем отопления и горячего водоснабжения.

Задание 1.9.2

Системы теплоснабжения: централизованные, децентрализованные, индивидуальные. Теплофикация.

Задание 1.9.3

Методы определения расчётных и текущих, часовых и годовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Задание 1.9.4

Часовые и годовые графики расхода теплоты жилыми районами. Часовой и годовой коэффициенты теплофикации.

Задание 1.9.5

Схема теплового пункта в открытой водяной системе централизованного теплоснабжения с узлом учёта теплоты и присоединением систем отопления и горячего водоснабжения.

Задание 1.9.6

Графики температур и расходов теплоносителя в закрытой водяной системе теплоснабжения с нагрузкой отопления и горячего водоснабжения при центральном регулировании по отоплению.

Задание 1.9.7

Гидравлический расчёт водяной тепловой сети. Основные цели и задачи расчета.

Задание 1.9.8

Пьезометрический график водяной тепловой сети. Требования к распределению напора и давления по длине тепловой сети в статическом и динамическом режимах.

Задание 1.9.9

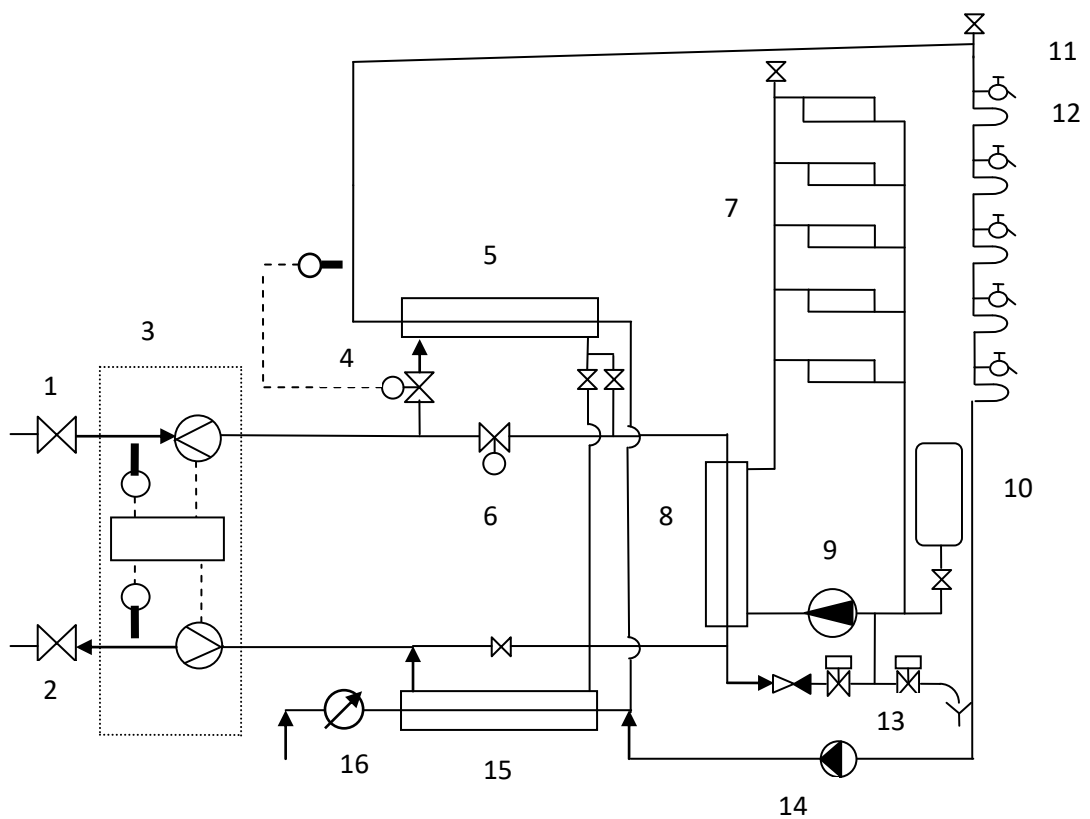
Надземная и подземная канальная и бесканальная прокладка теплопроводов, изоляционные конструкции. Температурные деформации теплопроводов, их компенсация.

Задание 1.9.10

Тепловые потери через изоляцию тепловых сетей надземной, подземной канальной и бесканальной прокладок.

Пример выполнения задания 1.9.1

Принципиальная схема теплового пункта в закрытой системе теплоснабжения. Установка отопления присоединена по независимой схеме. Теплообменники циркуляционной установки горячего водоснабжения присоединены по двухступенчатой схеме.



Принципиальная схема теплового пункта в закрытой системе теплоснабжения

- 1 и 2 - задвижки на границе теплового пункта;
- 3 - теплосчётчик с датчиками температуры и расхода сетевой воды;
- 4 - регулятор температуры горячей воды в системе ГВС с датчиком температуры и регулирующим клапаном;
- 5 - теплообменник системы ГВС 2-й ступени;
- 6 - регулятор расхода сетевой воды на отопление с регулирующим клапаном;
- 7 - система отопления;
- 8 - теплообменник отопления;
- 9 - циркуляционный насос системы отопления;
- 10 - расширительный бак;
- 11 - водоразборное устройство;
- 12 - отопительный прибор ванной комнаты;
- 13 - система стабилизации давления в системе отопления;
- 14 - циркуляционный насос системы ГВС;
- 15 - теплообменник системы ГВС 1-й ступени;
- 16 - счётчик холодной воды.

Блок №2 Теплотехника и малая распределенная энергетика

Задание экзаменационного билета № 2.1 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
2.1.1	По какому из приведенных уравнений можно рассчитать тепловой поток через цилиндрическую стенку?	<p>6. $Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2);$</p> <p>7. $Q = \frac{2\pi\lambda L(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}};$</p> <p>8. $Q = \frac{2\pi\lambda L(t_1 - t_2)}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}};$</p> <p>9. $Q = \frac{L(t_1 - t_2)}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2}};$</p> <p>10. $Q = \frac{\delta}{\lambda}(t_1 - t_2).$</p>	
2.1.2	Укажите правильное выражение для линейного коэффициента теплопередачи через цилиндрическую стенку.	<p>1. $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}};$</p> <p>2. $k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}};$</p> <p>3. $k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{\delta}{2\lambda} \cdot \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 d_2}};$</p> <p>4. $k_l = \frac{2\pi\lambda(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}};$</p> <p>5. $k = \frac{\lambda}{\delta(t_1 - t_2)}.$</p>	
2.1.3	Отметьте правильные определения:	<p>6. изотермические поверхности пересекаются;</p> <p>7. вектор плотности теплового потока сонаправлен с вектором градиента температурного поля;</p> <p>8. коэффициент теплоотдачи численно равен количеству теплоты,</p>	

		<p>проходящему через единичную поверхность в единицу времени при разности значений температуры поверхности и жидкости в один кельвин;</p> <p>9. при теплопередаче отсутствуют конвекция и теплопроводность;</p> <p>10. плотность теплового потока измеряется в ваттах.</p>	
2.1.4	<p>Стена здания выполнена из слоя красного кирпича толщиной 270 мм с коэффициентом теплопроводности 0,77 Вт/(м·К) и асбоцементных плит толщиной 100 мм с коэффициентом теплопроводности 0,092 Вт/(м·К). Температура на внутренней стороне стены 15 °С, на наружной поверхности - 10 °С. Найти плотность теплового потока через поверхность стены.</p>	<p>6. 3,478 Дж/м²;</p> <p>7. -17,39 Вт;</p> <p>8. 35,94 Вт/м²;</p> <p>9. -17,39 Вт/м²;</p> <p>10. -8,157 Дж/м².</p>	
2.1.5	<p>Определить плотность теплового потока через однослойную плоскую стенку здания толщиной 380 мм, выполненную из красного кирпича, коэффициент теплопроводности 0,77 Вт/(м·К), если температура внутреннего воздуха 22 °С, температура наружного воздуха -5 °С, коэффициент теплоотдачи с внутренней стороны стенки 12 Вт/(м²·К), с наружной стороны 23 Вт/(м²·К).</p>	<p>6. 43,52 Вт/м²;</p> <p>7. 43,52Вт;</p> <p>8. 16,74Вт/м²;</p> <p>9. 12,54Дж;</p> <p>10. 12,54 Дж/м².</p>	
2.1.6	<p>Установите соответствие между математической моделью и решаемой задачей</p> $\frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2};$ $t(0,0) = t_0;$ $t(0,\tau) = t_{c1};$ $t(\delta,\tau) = t_{c2}$	<p>6. стационарная теплопроводность в плоском слое при несимметричных условиях первого рода при постоянной теплопроводности материала;</p> <p>7. стационарное температурное поле в ребре постоянного сечения;</p> <p>8. стационарная теплопроводность в плоском слое при несимметричных условиях первого рода при переменной теплопроводности материала;</p> <p>9. нестационарная теплопроводность в плоском слое при несимметричных граничных условиях 3 рода и постоянной теплопроводности материала;</p> <p>10. нестационарная теплопроводность в</p>	

		плоском слое при несимметричных граничных условиях 1 рода и постоянной теплопроводности материала	
2.1.7	<p>Установите соответствие между математической моделью и решаемой задачей</p> $\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0$ $r = 0; \frac{dt}{dr} = 0;$ $r = r_0; t(r_0) = t_c$	<p>6. стационарная теплопроводность в цилиндрическом слое при несимметричных условиях первого рода и постоянной теплопроводности материала;</p> <p>7. нестационарная теплопроводность в цилиндрическом слое с q_v при граничных условиях 1 рода и постоянной теплопроводности материала;</p> <p>8. стационарная теплопроводность в цилиндрическом слое при несимметричных условиях второго рода при переменной теплопроводности материала;</p> <p>9. нестационарная теплопроводность в цилиндре при симметричных граничных условиях 3 рода и постоянной теплопроводности материала;</p> <p>10. стационарная теплопроводность в цилиндре с внутренним источником теплоты при симметричных условиях первого рода и постоянной теплопроводности материала;</p> <p>11. стационарное температурное поле в ребре постоянного сечения</p>	
2.1.8	Регулярным режимом охлаждения называют	<p>1. режим, при котором скорость изменения безразмерной температуры в центре тела становится постоянной;</p> <p>2. режим, при котором темп охлаждения тела становится константой;</p> <p>3. режим теплового равновесия с охлаждающей средой;</p> <p>4. режим, при котором изменение температуры тела во времени становится линейным</p>	
2.1.9	<p>Рассчитайте значение числа Фурье при симметричном нагреве бесконечного цилиндра диаметром 400 мм, для следующих данных: плотность 7200 кг/м³, время нагрева 2,5 часа, удельная массовая изобарная теплоемкость 360 Дж/(кг К), коэффициент теплопроводности 52 Вт/(м К).</p>	<p>6. 4,51;</p> <p>7. 0,47;</p> <p>8. 0,221;</p> <p>9. 125,38;</p> <p>10. 1,128.</p>	
2.1.10	<p>Безразмерная температура в параллелепипеде с размерами $b \times c \times d$ рассчитывается как:</p>	<p>6. температура бесконечного цилиндра радиуса \sqrt{cd} ;</p> <p>7. среднее арифметическое безразмерных</p>	

		температур пластин толщиной b, c, d ; 8. безразмерная температура куба равного объёма; 9. произведение безразмерных температур пластин, пересечением которых он образован; 10. среднее арифметическое безразмерных температур пластин толщиной $b/2, c/2, d/2$.	
--	--	---	--

Пример выполнения задания 2.1.3

Ответ 1 не верный, поскольку подразумевает наличие двух разных температур в одной точке.

Ответ 2 не верный, противоречит закону Фурье.

Ответ 3 верный – по определению: коэффициент теплоотдачи численно равен количеству теплоты, проходящему через единичную поверхность в единицу времени при разности значений температуры поверхности и жидкости в один кельвин (соответствует формуле Ньютона-Рихмана).

Ответ 4 не верный, поскольку конвекция и теплопроводность это виды теплопередачи.

Ответ 5 не верный, поскольку плотностью теплового потока имеет размерность $Вт/м^2$.

Задание экзаменационного билета № 2.2 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
2.2.1	Число Рейнольдса определяется выражением	1. $\frac{wl}{\nu}$; 2. $\frac{a\tau}{l^2}$; 3. $\frac{g\beta\Delta tl^3}{\nu^2}$; 4. $\frac{\mu c_p}{\lambda}$; 5. $\frac{\alpha l}{\lambda}$.	
2.2.2	В каком случае устанавливается вязкостный режим при ламинарном течении жидкости в трубах?	1. при сочетании вынужденного течения жидкости и свободной конвекции; 2. при вынужденной конвекции; 3. при отсутствии свободной конвекции; 4. при переходном режиме	
2.2.3	Горизонтальный трубопровод диаметром 50 мм и длиной 5 м проложен в помещении. Коэффициент	1. 15 Вт/(м·К); 2. 15 Вт/(м ² ·К); 3. 60 Вт/(м ² ·К); 4. $2,5 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м·К);	

	теплопроводности воздуха 0,025 Вт/(м·К). Определить коэффициент теплоотдачи, если число Нуссельта равно 30.	5. 6000 Вт/(м·К)	
2.2.4	Как влияет скорость потока на величину угла φ , при котором происходит образование вихревой зоны при поперечном обтекании трубы?	<ol style="list-style-type: none"> 1. не оказывает влияния 2. чем больше скорость потока, тем больше угол φ; 3. чем больше скорость потока, тем меньше угол φ; 4. надо знать режим течения 	
2.2.5	В каком случае толщина теплового пограничного слоя превышает толщину динамического пограничного слоя?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $Pr < 1$ 2. $Pr > 1$ 3. $Pr = 1$ 4. $Pr = 0$ 5. $Pr = 100$ 	
2.2.6	В каком случае имеет место вязкостно-гравитационный режим при ламинарном течении жидкости в трубах?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $Gr \cdot Pr > 8 \cdot 10^5$ 2. $Gr \cdot Pr < 8 \cdot 10^5$ 3. $Nu > 100$ 4. $Nu < 100$ 5. в пограничном слое 	
2.2.7	При каком расположении труб в пучке коэффициент теплоотдачи выше при его поперечном омывании (условия процесса считать одинаковыми)?	<ol style="list-style-type: none"> 1. от расположения труб не зависит 2. в зависимости от характера течения 3. при коридорном 4. при шахматном 5. зависит от природы жидкости 	
2.2.8	Выберите правильные утверждения:	<ol style="list-style-type: none"> 1. при ламинарном стекании плёнки конденсата локальный коэффициент теплоотдачи уменьшается с координатой; 2. коэффициент теплоотдачи при плёночной на вертикальной стенке конденсации увеличивается с ростом температурного напора; 3. коэффициент теплоотдачи при плёночной конденсации не зависит от температурного напора; 4. критическое значение числа Рейнольдса плёнки конденсата равно 2300. 	
2.2.9	Выберите неверное утверждения:	<ol style="list-style-type: none"> 1. для закипания воды её температура всегда должна быть равна 100 °С; 2. кипением называют процесс интенсивного парообразования с образованием поверхностей раздела фаз в объёме жидкости и/или на поверхности нагрева; 3. для процесса кипения необходимо и наличие центров парообразования; 4. при образовании парового пузырька не происходит преобразования теплоты в механическую энергию 	

2.2.10	Укажите правильное выражение для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при пленочной конденсации на наружной поверхности горизонтальной трубы.	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\alpha(x) = \sqrt[4]{\frac{\lambda'^3 \cdot r \cdot \rho' \cdot \Delta\rho \cdot g}{4 \cdot \Delta t \cdot \mu' \cdot x}}$; 2. $\bar{\alpha} = 0,728 \sqrt[4]{\frac{\lambda'^3 \cdot r \cdot \rho' \cdot \Delta\rho \cdot g}{\Delta t \cdot \mu' \cdot d}}$; 3. $\bar{\alpha} = 0,943 \sqrt[4]{\frac{\lambda'^3 \cdot r \cdot \rho' \cdot \Delta\rho \cdot g}{\Delta t \cdot \mu' \cdot l}}$; 4. $\bar{\alpha} = \frac{[253 + 0,069 \text{Pr}'^{0,5} \varepsilon_l (Z - 2300)]^{4/3}}{9150 + 58 \text{Pr}'^{-0,5} (\text{Re}^{3/4} - 253)}$ 	
--------	--	--	--

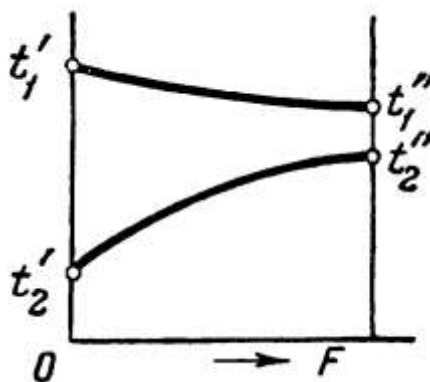
Пример выполнения задания 2.2.1

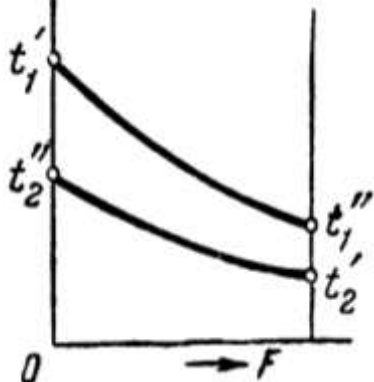
Число Рейнольдса — безразмерное соотношение, которое определяет ламинарный или турбулентный режим течения жидкости или газа. Число Рейнольдса также считается критерием подобия потоков. Число Рейнольдса определяется следующим соотношением:

$$\frac{wl}{\nu}$$

. Правильный ответ – 1.

Задание экзаменационного билета № 2.3 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
2.3.1	<p>Укажите, какая из схем движения теплоносителей показана на графике</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прямоток. $C_1 = C_2$ 2. Прямоток. $C_1 > C_2$ 3. Прямоток. $C_1 < C_2$ 4. Противоток. $C_1 = C_2$ 5. Противоток. $C_1 > C_2$ 6. Противоток. $C_1 < C_2$ <p>Здесь C – полная расходная теплоемкость, Вт/К</p>	

2.3.2	 <p>Укажите, какая из схем движения теплоносителей показана на графике</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прямоток. $C_1 = C_2$ 2. Прямоток. $C_1 > C_2$ 3. Прямоток. $C_1 < C_2$ 4. Противоток. $C_1 = C_2$ 5. Противоток. $C_1 > C_2$ 6. Противоток. $C_1 < C_2$ <p>Здесь C – полная расходная теплоемкость, Вт/К</p>	
2.3.3	<p>Записана система уравнений для расчёта изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена</p> $0 \leq z \leq F$ $C_1 \cdot dt_1(z) = k(t_2(z) - t_1(z)) \cdot dz$ $C_2 \cdot dt_2(z) = k(t_2(z) - t_1(z)) \cdot dz$ <p>Правые части уравнений представляют собой уравнения:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. теплоотдачи, 2. теплопередачи, 3. теплового баланса, 4. теплопроводности 	
2.3.4	<p>Определите средний температурный напор при противоточном движении теплоносителей в теплообменнике. Температура греющего теплоносителя меняется от 450 °С до 380 °С, температура нагреваемого теплоносителя меняется от 20 °С до 260 °С.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 266 °С 2. 242 °С 3. 275 °С 4. 107 °С 	
2.3.5	<p>Определить поверхность теплообмена теплообменника тепловой мощностью 2,5 кВт, если средний температурный напор равен 160 °С, а коэффициент теплопередачи 42 Вт/(м²·К)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3,72 см²; 2. 9,524 м²; 3. 0,372 м²; 4. 0,656 м² 5. 2,688 м². 	
2.3.6	<p>Средним угловым коэффициентом излучения тела А на тело Б называют:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. долю потока эффективного сферического излучения поверхности А, попавшую на поверхность, Б; 2. отношение результирующих потоков излучения тел А и Б; 3. отношение поверхностей тел А и Б, обращённых друг к другу; 4. отношение потока отраженного 	

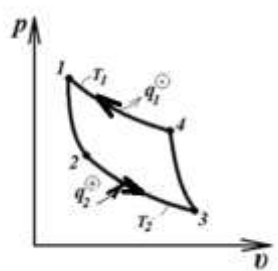
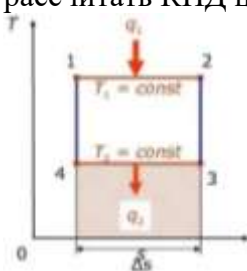
		излучения поверхности А к потоку собственного излучения поверхности Б.	
2.3.7	Эффективным потоком излучения называют:	<ol style="list-style-type: none"> 1. поток излучения АЧТ; 2. разность между потоками падающего и поглощённого излучения плюс поток собственного излучения; 3. сумму потоков результирующего и отраженного излучения; 4. поток излучения, испускаемого телом в пространство 	
2.3.8	Отметьте правильные определения:	<ol style="list-style-type: none"> 1. интегральный поток излучения поверхности тела зависит от природы тела, температуры его поверхности и длины волны излучения; 2. для диффузной поверхности плотность потока излучения в π раз больше интенсивности её излучения; 3. абсолютно чёрное тело поглощает всё излучение, а само не излучает; 4. поверхность твердого тела излучает в пространственный угол 2π. 	
2.3.9	Две близко расположенные друг к другу пластины с температурами $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и степенью черноты соответственно 0,15 и 0,9 обмениваются лучистой энергией. Определить: плотность результирующего теплового потока между пластинами	<ol style="list-style-type: none"> 1. $314,4\text{ Вт/м}^2$; 2. $1204,4\text{ Вт/м}^2$; 3. $19,25\text{ Вт/м}^2$; 4. $364,3\text{ Вт/м}^2$. 	
2.3.10	Найти плотность результирующего потока излучения всистеме, состоящей из двух бесконечно длинных коаксиальных цилиндров, отнесенную к внутреннему цилиндру. Температура, диаметр и степень черноты внутреннего цилиндра, соответственно: $440\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50 мм, 0,8. Температура , диаметр и степень черноты наружного цилиндра, соответственно: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 мм, 0,4.	<ol style="list-style-type: none"> 1. $8185,2\text{ Вт/м}^2$; 2. $9898,4\text{ Вт/м}^2$; 3. $4836,7\text{ Вт/м}^2$; 4. $1572,8\text{ Вт/м}^2$. 	

Пример выполнения задания 2.3.1

При теплообмене в прямотоке кривые изменения температур обоих теплоносителей сближаются, и разность температур по поверхности теплообмена уменьшается, что и наблюдается на рисунке. Кроме того, поскольку изменение температуры первого теплоносителя оказывается меньше, то это означает, что его полная расходная теплоемкость больше. Правильный ответ – 2.

Задание экзаменационного билета № 2.4 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
2.4.1	Какое соотношение является выражением 1-ого закона термодинамики?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $ds = dq + dl$ 2. $dq = du + dl_v$ 3. $dh = dq + du$ 4. $dh = du + p \cdot v$ 5. $dq = Tds$ 	
2.4.2	Выберите выражение I-ого закона термодинамики для изохорного процесса идеального газа	<ol style="list-style-type: none"> 1. $dq = du$ 2. $dq = 0$ 3. $dh = const$ 4. $dp = 0$ 	
2.4.3	В каком из перечисленных процессов значение теплоёмкости будет наибольшим?	<ol style="list-style-type: none"> 1. адиабатный 2. политропный 3. изохорный 4. изобарный 5. изотермический 	
2.4.4	Какое соотношение является выражением 2-ого закона термодинамики для необратимых процессов?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $du = dq + dl$ 2. $dq = du + dl$ 3. $dl = dq + du$ 4. $dq < Tds$ 5. $dp = 0$ 	
2.4.5.	Выберите выражение I-ого закона термодинамики для изотермического процесса идеального газа	<ol style="list-style-type: none"> 1. $dq = dl_v$ 2. $dq = 0$ 3. $dh = const$ 4. $dp = 0$ 	
2.4.6	Как изменяется энтропия в необратимых процессах?	<ol style="list-style-type: none"> 1. возрастает; 2. не меняется; 3. уменьшается; 4. характер изменения зависит от давления. 	
2.4.7	В каких единицах измеряется удельная энтальпия газа?	<ol style="list-style-type: none"> 1. кВт·ч; 2. МВт; 3. кДж/кг; 4. кДж; 5. ккал. 	
2.4.8	Какое соотношение является выражением 2-ого закона термодинамики для обратимых процессов?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $du = dq + dl$ 2. $dq = 0$ 3. $dl = pdv$ 4. $dq = Tds$ 5. $pv = RT$ 	
2.4.9	По какой из предложенных формул можно рассчитать подводимую/отводимую теплоту в изобарном процессе (1 - 2) идеального газа?	<ol style="list-style-type: none"> 1. $q = p_2 - p_1$ 2. $q = s_2 - s_1$ 3. $q = p \cdot (v_2 - v_1)$; 4. $q = 0$ 5. $q = pv/RT$ 	
2.4.10	Внутренняя энергия идеального газа зависит	<ol style="list-style-type: none"> 1. давления 	

	только от	2. температуры 3. не зависит от параметров 4. влажности 5. энтропии	
2.4.11	Какой цикл изображен на p-v диаграмме 	1. Прямой цикл Карно 2. Обратный цикл Карно 3. Дизеля 4. Ренкина 5. Тринклера 6. Бойля-Мариотта	
2.4.12	По какому из приведенных уравнений можно рассчитать КПД цикла Карно 	1. $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 2. $\eta_t = T_2 - T_1$ 3. $\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2}$ 4. $\eta_t = T_1 - T_2$	
2.4.13	При расширении 10 кг газа совершается работа, равная 30 кДж. При этом к газу извне подводится 10 кДж теплоты. Определите, как изменится удельная внутренняя энергия в этом процессе?	1. 30 кДж; 2. -20 кДж; 3. 2 кДж/кг; 4. -2 кДж; 5. -2 кДж/кг; 6. не изменится	
2.4.14	При сжатии 1 кг газа затрачивается работа, равная 20 кДж. При этом от газа отводится 10 кДж теплоты. Определите, как изменится удельная внутренняя энергия в этом процессе?	1. 10 кДж/кг; 2. -1 кДж/кг; 3. 30 кДж; 4. 3 кДж/кг; 5. -3 кДж/кг; 6. не изменится	
2.4.15	Каким соотношением связаны изобарная и изохорные теплоемкости	1. $c_p = c_v + R$ 2. $c_p = c_v$ 3. $c_p = R \cdot c_v$ 4. не связаны	
2.4.16	Выберите уравнение для расчета адиабатного процесса с учетом зависимости теплоемкости от температуры	1. $p v = R T$ 2. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{\pi_{02}}{\pi_{01}}$ 3. $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 4. $p_1 v_1 = p_2 v_2$	
2.4.17	Объем, занимаемый 5 кг идеального газа (молярная масса газа составляет 28,96 кг/кмоль) при температуре 40 °С, составляет 0,07 м ³ . Чему равно давление газа?	1. 186,0 кПа 2. 37,2 кПа 3. 6422 кПа 4. 820 кПа 5. 1284 кПа	
2.4.18	Диоксид углерода массой 13 кг (молярная масса CO ₂ составляет 44 кг/кмоль) при давлении 0,5 МПа занимает объем 0,7 м ³ .	1. 700,58 К; 2. 154,28 К; 3. 9,71 °С;	

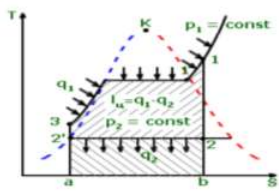
	Считая диоксид углерода идеальным газом, определите температуру газа?	4. 427,43 °С; 5. 427,43 К.	
2.4.19	Тепловой двигатель за один цикл получает от нагревателя $q_1=300$ кДж теплоты и отдает холодильнику $q_2=120$ кДж. Чему равен КПД этого двигателя (%)	1. 20 %; 2. 60 %; 3. 100 %; 4. 30 %	
2.4.20	Каким коэффициентом оценивается эффективность системы, работающей по теплосиловому циклу	1. Внутренним КПД цикла 2. Холодильным коэффициентом 3. Отопительным коэффициентом 4. Эксергетическим КПД	

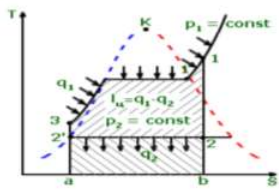
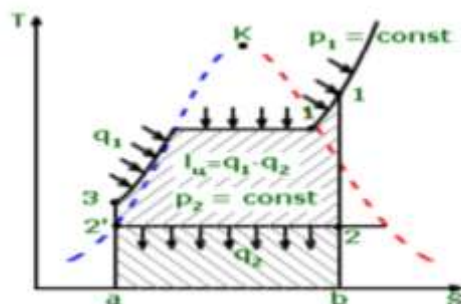
Пример выполнения задания 2.4.11

Уравнение состояния идеального газа $PV = \frac{m}{M}RT$, откуда давление находится по формуле

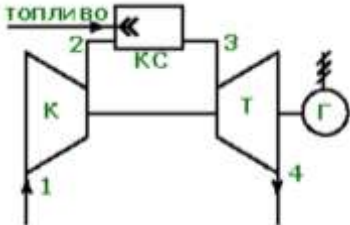
$$P = \frac{m}{V \cdot M}RT = \frac{5}{28,96 \cdot 0,07} 8,31 \cdot (40 + 273,15) = 6422 \text{ кПа.}$$
 Верный ответ -3.

Задание экзаменационного билета № 2.5 (4 балла)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
2.5.1	Как называется точка, в которой сосуществуют три фазы (жидкая, газообразная и твердая)?	1. тройная точка; 2. точка сублимации; 3. точка инверсии; 4. критическая точка; 5. точка росы.	
2.5.2	Какой цикл изображен на Т-s диаграмме 	1. Карно 2. Дизеля 3. Ренкина 4. Тринклера 5. Бойля-Мариотта	
2.5.3	Сопло – это специально спроектированное устройство, которое применяют	1. Для увеличения массы потока 2. Для уменьшения расхода вещества 3. Для поддержания постоянной скорости потока 4. Для увеличения скорости потока	
2.5.4	По какой из предложенных формул можно рассчитать подводимую/отводимую теплоту в изобарном процессе (1 - 2) реального газа?	1. $q = h_2 - h_1$ 2. $q = T \cdot (s_2 - s_1)$ 3. $q = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$ 4. $q = v \cdot (p_2 - p_1)$	

		$5. q = v \cdot (p_1 - p_2)$	
2.5.5	<p>Что такое степень сухости влажного пара? (m - масса; индексы: "п" - пар; "ж" - жидкость).</p>	$1. x = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}}$ $2. x = \frac{m_{\text{ж}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}}$ $3. x = \frac{m_{\text{ж}} - m_{\text{п}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}}$ $4. x = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{ж}} - m_{\text{п}}}$	
2.5.6	<p>От <i>каких</i> термодинамических параметров зависит энтальпия реального газа?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Давления; 2. Объема и газовой постоянной; 3. Температуры; 4. Газовой постоянной; 5. Давления и температуры; 6. Не зависит от термодинамических параметров. 	
2.5.7	<p>Эффект падения давления струи рабочего тела в процессе протекания через сужение в канале называется</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. конденсация; 2. сублимация; 3. кипение; 4. дросселирование; 5. плавление. 	
2.5.8	<p>Из каких процессов состоит цикл паротурбинной установки (цикл Ренкина)?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изотерма, адиабата, Изотерма, изохора 2. Адиабата, изобара, адиабата, изобара 3. Адиабата, изотерма, политропа, изохора 4. Изотерма, адиабата, политропа, адиабата 	
2.5.9	<p>По какой формуле следует рассчитывать термический КПД цикла паротурбинной установки (цикл Ренкина)? (Состояния 1 и 2 – до и после турбины, 2' и 3 – до и после насоса.)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\eta_t = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_3}$ 2. $\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_3 - h_{2'}}$ 3. $\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) - (h_3 - h_{2'})}{h_1 - h_3}$ 4. $\eta_t = \frac{h_1 - h_3}{h_1 - h_2}$ 5. $\eta_t = \frac{(h_3 - h_{2'}) - (h_1 - h_2)}{h_2 - h_{2'}}$ 	
2.5.10	<p>В каком соотношении находятся удельные работы турбины (l_T) и насоса (l_H) в цикле паротурбинной установки (цикле Ренкина)?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $l_T \ll l_H$ 2. $l_T \approx l_H$ 3. $l_T = (2 - 5) \cdot l_H$ 4. $l_T \gg l_H$ 5. ответ неопределенный: может быть $l_T > l_H$, а может $l_T < l_H$ 	

2.5.11	<p>Какая точка на T-s диаграмме соответствует состоянию сухого насыщенного пара</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2 2. 2' 3. 1 4. 3 5. 4 6. a 	
2.5.10	<p>В каком соотношении находятся термические КПД цикла Ренкина (η_p) и цикла Карно (η_k)?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\eta_p > \eta_k$ 2. $\eta_p \geq \eta_k$ 3. $\eta_p = \eta_k$ 4. $\eta_p \leq \eta_k$ 5. $\eta_p < \eta_k$ 	
2.5.11	<p>Какое соотношение нужно использовать для расчета внутреннего КПД необратимого цикла Ренкина? l_T, l_H – удельные работы турбины и насоса в обратимых процессах; η_T, η_H – внутренние относительные КПД турбины и насоса; q_1, q_2 – подведенная к циклу и отведенная от него теплота.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\eta_i = (l_T \cdot \eta_T + l_H \eta_H)/q_1$ 2. $\eta_i = (l_T/\eta_T + l_H/\eta_H)/q_2$ 3. $\eta_i = (l_T \cdot \eta_T + l_H/\eta_H)/q_1$ 4. $\eta_i = (l_T \cdot \eta_T - l_H/\eta_H)/q_2$ 5. $\eta_i = (l_T \cdot \eta_T - l_H/\eta_H)/q_1$ 	
2.5.12	<p>Как изменятся удельная работа цикла $l_{ц}$ и термический КПД η_t обратимого цикла Ренкина на перегретом паре при увеличении температуры пара перед турбиной? Давления пара p_1, p_2 не меняются.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. $l_{ц}$ и η_t уменьшатся 2. $l_{ц}$ и η_t увеличатся 3. $l_{ц}$ и η_t не изменятся 4. $l_{ц}$ увеличится, η_t уменьшится 5. $l_{ц}$ уменьшится, η_t 	

		увеличится	
2.5.13	<p>Какое соотношение нужно использовать для расчета внутреннего КПД необратимого цикла газотурбинной установки?</p> <p>l_t, l_k – удельные работы турбины и компрессора в обратимых процессах; η_t, η_k – внутренние относительные КПД турбины и компрессора; q_1, q_2 – подведенная к циклу и отведенная от него теплота.</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\eta_i = \frac{l_t \cdot \eta_t + l_k \cdot \eta_k}{q_1} \eta_i = (l_t \cdot \eta_t + l_k \cdot \eta_k) / q_1$ 2. $\eta_i = (l_t / \eta_t + l_k / \eta_k) / q_2$ 3. $\eta_i = (l_t \cdot \eta_t - l_k / \eta_k) / q_1$ 4. $\eta_i = (l_t \cdot \eta_t - l_k / \eta_k) / q_2$ 5. $\eta_i = (l_t \cdot \eta_t + l_k / \eta_k) / q_1$ 	
2.5.14	<p>Как изменяется термический КПД η_t обратимого цикла газотурбинной установки с ростом температуры рабочего тела перед газовой турбиной?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. растет; 2. снижается; 3. не меняется; 4. зависимость имеет максимум; 5. зависимость имеет минимум. 	

Пример выполнения задания 2.5.10

Согласно теореме Карно коэффициент полезного действия любой тепловой машины, работающей в интервале температур T_1 и T_2 (T_1 – температура нагревателя и T_2 – температура холодильника) не может быть больше к.п.д. машины, работающей по циклу Карно в том же интервале температур, поэтому правильный ответ – 5.

Задание экзаменационного билета № 2.6 (10 баллов)

Задание 2.6.1

Формулировки первого закона термодинамики. Аналитические выражения первого закона для неподвижной системы: выражения для равновесных процессов, для неравновесных процессов и для равновесных процессов с трением.

Задание 2.6.2

Первый закон термодинамики для потока вещества. Теплота и работа в потоке. Область применения и сравнение работы расширения и технической работы, иллюстрация этих работ в p, v -диаграмме.

Задание 2.6.3

Обратимый цикл Карно и условия обратимости его процессов. КПД цикла Карно. 1-я и 2-я теоремы Карно.

Задание 2.6.4

Формулировки второго закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы, причины необратимости, условия обратимости процессов. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов.

Задание 2.6.5

Понятие энтропии. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.

Энтропия изолированной системы.

Задание 2.6.6

Понятие эксергии. Эксергия теплоты. Уравнение Гюи-Стодолы, эксергетический КПД.

Задание 2.6.7

Термодинамические свойства воды и водяного пара. Тройная точка, критическая точка, минимум удельного объема. p, v -, p, T - диаграммы воды и водяного пара. Определение термодинамических свойств в однофазной и двухфазной области.

Задание 6.2.8

Влияние p, T -параметров теоретического цикла на КПД и мощность ПТУ.

Среднеинтегральные температуры подвода и отвода теплоты в цикле ПТУ.

Задание 2.6.9

Виды компрессоров. Процессы сжатия в компрессоре. Расчет работы и отводимой теплоты в процессах сжатия в одноступенчатом компрессоре. Мощность компрессора.

Задание 2.6.10

Схема ПТУ с промежуточным перегревом пара. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара в T, s -диаграмме. Основные характеристики цикла (КПД, мощность, удельный расход топлива).

Пример выполнения задания 2.6.6

Эксергия - часть энергии системы, которая может быть превращена в энергию организованных форм. Количественной мерой эксергии является максимально возможная полезная работа, которая может быть получена при абстрактном переходе системы по обратимым процессам от собственных параметров к параметрам окружающей среды

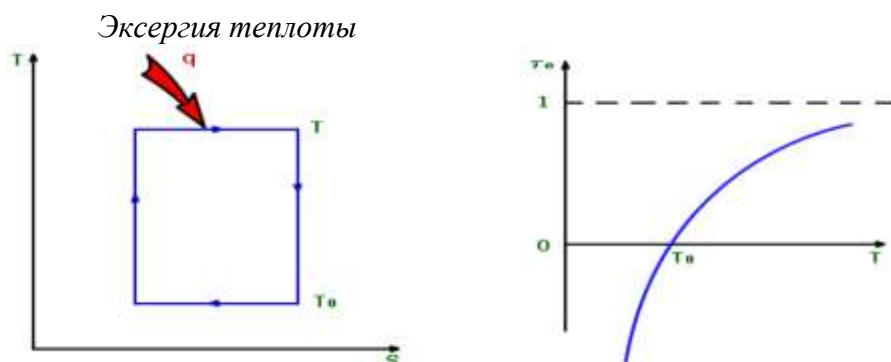
p_0, T_0 . Поэтому

$$e = f(p, T, p_0, T_0)$$

или

$$e = f(v, T, p_0, T_0)$$

$$e(p_0, T_0) = 0; \quad e(U) < U; \quad e(Q) < Q; \quad e(E_{кин}) = E_{кин}.$$

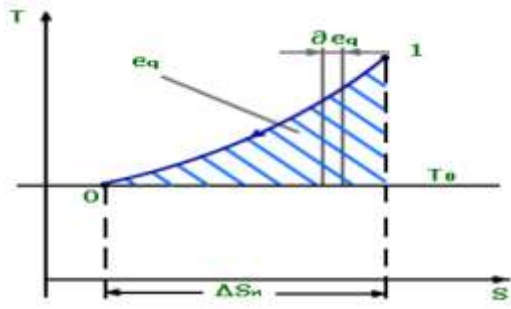


При постоянных температурах источников теплоты $T = const$

$$e_q = q \cdot \eta_t = q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right).$$

Если ввести понятие эксергетическая функция $\tau_e = 1 - \frac{T_0}{T}$, то $e_q = q \cdot \tau_e$

при $\tau_e > 0;$ $e_q > 0;$ при $\tau_e < 0;$ $e_q < 0.$



При изменяющейся температуре источника теплоты $T \neq const$ (например, эксергия продуктов сгорания топлива, отдающих теплоту воде и пару в котлоагрегате):

$$e_q = \int_{T_1}^{T_0} dq(1 - T_0/T) ;$$

$$\int_{T_1}^{T_0} dq/T = \Delta s_{уст}$$

и, так как

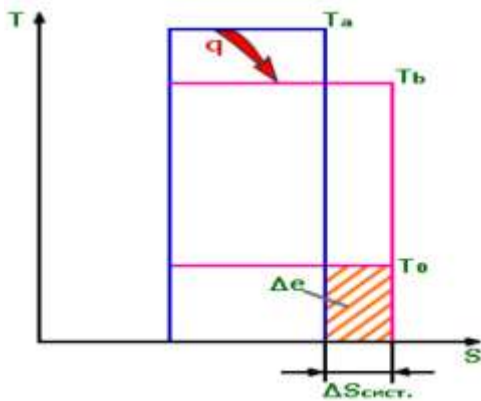
то эксергия теплоты переменной температуры

$$e_q = q - T_0 \cdot \Delta s_{уст}$$

или $e_q = q \cdot \tau_{e,cp}$, где $\tau_{e,cp} = 1 - \frac{T_0}{T_{cp}}$.

Потери эксергии в необратимых процессах

Рассмотрим систему, в которой передача теплоты от горячего источника осуществляется при наличии разности температур.



Эксергия теплоты при температуре T_a :

$$e_{q,a} = q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_a}\right)$$

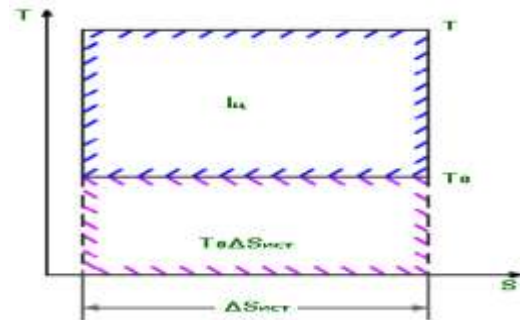
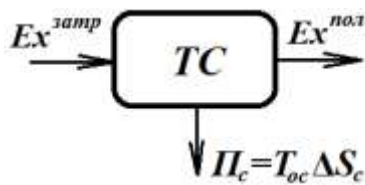
Эксергия теплоты при температуре T_b :

$$e_{q,b} = q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right)$$

Так как $\Delta s_{сист} = q(1/T_b - 1/T_a)$,

потеря эксергии в необратимом процессе составляет $\Delta e = e_{q,a} - e_{q,b} = T_0 \cdot \Delta s_{сист}$ (формула Гюи-Столды)

Эксергетический коэффициент полезного действия



Эксергетический коэффициент полезного действия представляет собой отношение полученной в процессе эксергии к затраченной

$$\eta_{ex} = \frac{e_{получ}}{e_{затр}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{e_{затр} - \Delta e}{e_{затр}}$$

ИЛИ

И

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{T_0 \cdot \Delta s_{сист}}{e_{затр}}$$

Эксергетический КПД является показателем термодинамического совершенства того или иного устройства или цикла. В отличие от термического КПД, он может применяться не только для анализа совершенства циклов, но и, например, для анализа эффективности работы теплообменников.

Задание экзаменационного билета № 2.7 (10 баллов)

Задание 2.7.1

Изобарный процесс идеального газа. Соотношения параметров, теплота и работа расширения. Изображение процесса в p,v - и T,s - диаграммах.

Задание 2.7.2

Изохорный процесс идеального газа. Соотношения параметров, теплота процесса. Изображение процесса в p,v - и T,s - диаграммах.

Задание 2.7.3

Адиабатный процесс идеального газа. Показатель адиабаты, уравнение адиабаты. Соотношения параметров, работа расширения и техническая работа. Изображение процесса в p,v - и T,s - диаграммах.

Задание 2.7.4

Политропный процесс, его обобщающее значение. Соотношение между термическими параметрами газа в политропном процессе. Расчет работы и теплоты в политропном процессе.

Задание 2.7.5

Изотермический процесс идеального газа. Соотношения параметров, работа расширения и теплота. Изображение процесса в p,v - и T,s - диаграммах

Задание 2.7.6

Изохорный процесс реального газа. Теплота и работа процесса. Изображение процесса в p,T -, p,v - и T,s - диаграммах.

Задание 2.7.7

Изобарный процесс реального газа. Теплота и работа процесса. Изображение процесса в p,T -, p,v - и T,s - диаграммах.

Задание 2.7.8

Адиабатный процесс реального газа, работа расширения и техническая работа. Изображение процесса в p,v -, T,s - и s - диаграммах.

Задание 2.7.9

Адиабатное дросселирование, определение процесса. Изменение давления, энтальпии, энтропии и температуры идеального и реального газа при адиабатном дросселировании. Изображение процесса в h,s - диаграмме. Эффект Джоуля-Томсона, коэффициент Джоуля – Томсона

Задание 2.7.10

Виды компрессоров. Процессы сжатия в компрессоре, изображение процессов в термодинамических диаграммах. Расчет работы и отводимой теплоты в процессах сжатия в одноступенчатом компрессоре. Мощность компрессора.

Пример выполнения задания 2.7.4

Все процессы идеального газа могут быть представлены как частные случаи политропного процесса с некоторым фиксированным показателем политропы (адиабатный процесс приближенно при $k = \text{const}$).

$$p \cdot v^n = \text{const}$$

Процесс	n	c_n
Изохорный	$\pm \infty$	c_v
Изобарный	0	c_p
Изотермический	1	$\pm \infty$
Адиабатный	k	0
Политропный	n	c_n

Изображение различных политроп в диаграмме p, v при этих фиксированных показателях политропы n показано на рисунке 1. График изменения теплоемкости газа в зависимости от заданного показателя политропы процесса представлена на рис. 2.

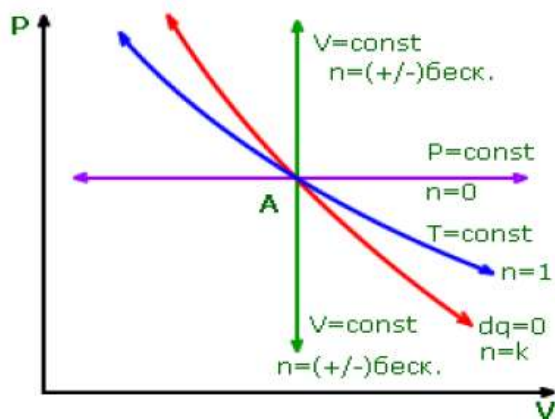


Рис. 1

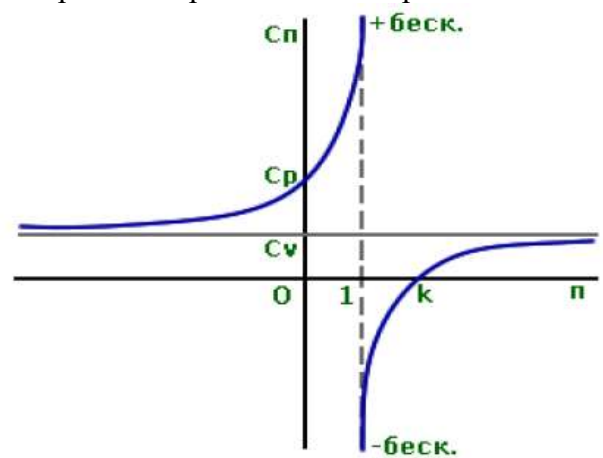


Рис. 2

Соотношение между термическими параметрами

Соотношением между термическими параметрами газа в этом процессе получим, используя уравнение Первого закона:

$$dq = dh - v dp \quad \text{и} \quad c_n dT = c_p dT - v dp;$$

$$dq = du + p dv \quad \text{и} \quad c_n dT = c_v dT + p dv.$$

Поделив эти уравнения, получим $\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = \frac{-v dp}{p dv}$.

Показатель политропы $n = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v}$.

Тогда $n \cdot \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0$ следовательно, проинтегрировав,

получим $p v^n = \text{const} \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n$.

Подставив $p = \frac{RT}{v}$, $T v^{n-1} = \text{const} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}$.

Подставив $v = \frac{RT}{p}$, $p^{1-n}T^n = const$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$.

Работа расширения газа

Для расчета работы расширения газа в политропном процессе используем (можно использовать любую из формул)

$$l = p_1 v_1 \frac{\left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right]}{n-1}$$

$$l = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{n-1}$$

$$l = \frac{R \cdot T_1 \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right]}{n-1}$$

$$l = p_1 v_1 \frac{\left[1 - \frac{T_2}{T_1}\right]}{n-1}$$

$$l = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{n-1}$$

$$l = \frac{R \cdot T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]}{n-1}$$

Теплота, подведенная в процессе

Для расчета теплоты используем основное уравнение $q = \int_1^2 c_n \cdot dT$.

Теплоемкость газа в политропном процессе определим из $n = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v}$

$$c_n = \frac{c_v(n-k)}{n-1}$$

Тогда $q = \int_1^2 c_v \cdot \frac{n-k}{n-1} dT$ и, после интегрирования, $q = \frac{(u_2 - u_1) \cdot (n-k)}{n-1}$,

где $k = \frac{h_2 - h_1}{u_2 - u_1}$. При приближенных вычислениях принимают $c_v = const$, $k = const$. Тогда

$$q = c_v \cdot \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1).$$

Задание экзаменационного билета № 2.8 (10 баллов)

Задание 2.8.1

Основные способы тепло- и массообмена: теплопроводность (диффузия, массопроводность); конвекция (теплоотдача, теплопередача, массоотдача); излучение.

Задание 2.8.2

Поля основных макроскопических параметров, являющиеся предметом изучения в тепло- и массообмене (температуры, концентрации, скорости, давления, теплового потока, энтальпии, потоков массы). Дайте определения и размерности параметров.

Задание 2.8.3

Молекулярный перенос теплоты, импульса и массы в неподвижной среде: гипотезы (законы) Фурье, Ньютона, Фика.

Задание 2.8.4

Дифференциальное уравнение теплопроводности как частный случай первого начала термодинамики применительно к процессу молекулярного переноса теплоты в неподвижной изотропной сплошной среде.

Задание 2.8.5

Условия однозначности решения дифференциального уравнения теплопроводности.

Задание 2.8.6

Стационарное температурное поле в плоском слое (стенке) при граничных условиях первого рода и постоянном коэффициенте теплопроводности. Термическое сопротивление теплопроводности.

Задание 2.8.7

Стационарное температурное поле в плоском слое (стенке) при граничных условиях третьего рода (теплопередача) и постоянном коэффициенте теплопроводности.

Термические сопротивления теплопередачи.

Задание 2.8.8

Стационарное температурное поле в цилиндрическом слое (стенке) при граничных условиях первого рода и постоянном коэффициенте теплопроводности. Линейная плотность теплового потока. Термическое сопротивление теплопроводности цилиндрического слоя.

Задание 2.8.9

Вычисление линейной плотности теплового потока через двухслойную цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода. Понятие критического диаметра цилиндрической изоляции. Выбор изоляции по её критическому диаметру.

Задание 2.8.10

Стационарное температурное поле и плотность теплового потока в плоской панели толщиной 2δ с равномерно распределённым внутренним источником теплоты qV , при постоянной теплопроводности вещества и при граничных условиях третьего рода (симметричная задача).

Пример выполнения задания 2.8.4

В соответствии с первым началом термодинамики подведённая (отведённая) к некоторому количеству вещества теплота расходуется на изменение внутренней энергии этого количества вещества и совершение им работы. Очевидно, что этот закон распространяется как на конечное количество вещества, так и на дифференциально малый элемент его объёма массой $dM = \rho \cdot dV$, кг. Для него можно написать: $dQ = dU + \delta L$, Дж. Для процесса теплопроводности в неподвижной среде из всех видов работы разумно учитывать только работу расширения $p \cdot dV$, то есть считать процесс подвода теплоты изобарным. Тогда выражение для подведённой теплоты с использованием понятия энтальпии можно записать как: $d^2Q = d^2H = \rho \cdot dh \cdot dV$. Подвод теплоты d^2Q осуществляется в течение некоторого времени dt , с, и эта теплота представляет собой теплоту действующего внутри элемента внутреннего источника теплоты мощностью q_v , Вт/м³, $d^2Q_1 = q_v \cdot dV \cdot dt$ и теплоту d^2Q_2 , подведённую (отведённую) к элементу через его границы от соседних элементов. Это количество теплоты можно математически выразить через произведение расхождения (дивергенции) вектора плотности результирующего теплового потока на промежуток времени dt : $d^2Q_2 = (-\text{div } q) \cdot dt$. Итак, $\rho d \cdot h \cdot dV = (q_v - \text{div } q) dV \cdot dt$. Или, сокращая обе части равенства на dV , получим:

$$\rho \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = q_v - \text{div } q, \text{ Вт/м}^3.$$

Изменение во времени энтальпии дифференциально малого объёма dV происходит вследствие действия в нём внутреннего источника теплоты и прихода (расхода) теплоты через границы объёма.

Имея в виду, что тепловое взаимодействие элементарного объёма со своими соседями осуществляется молекулярным путём, то есть действует закон Фурье, а $dh =$

$C_p \cdot dt$, получаем уравнение для температурного поля: $\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = q_v - \operatorname{div} (-\lambda \cdot \operatorname{grad} t)$, Вт/м³. Здесь температура t – искомая функция пространственных координат расположения элемента dV и временной координаты τ .

Если элементы находятся на границе тела, то для их теплового взаимодействия с окружающими телами записывают дополнительные уравнения: граничные условия.

Задание экзаменационного билета № 2.9 (10 баллов)

Задание 2.9.1

Математическая постановка задачи о симметричном охлаждении безграничной пластины (стенки) конечной толщины 2δ жидкостью с постоянной температурой $t_{ж}$, при постоянной интенсивности охлаждения α . Начальная температура пластины t_0 , теплофизические свойства материала постоянны.

Задание 2.9.2

Приведение задачи об охлаждении пластины к безразмерному виду. Безразмерные координаты и комплексы. Физический смысл чисел Био и Фурье.

Задание 2.9.3

Решение линейной задачи о симметричном охлаждении пластины путём разложения искомой функции $\Theta(X, Fo)$ в ряд Фурье по собственным функциям задачи Штурма-Лиувилля. Запишите решение в безразмерном виде, объясните входящие в него члены.

Задание 2.9.4

Поведение решения нестационарной задачи об охлаждении тела при длительном охлаждении на примере пластины. Понятие регулярного режима охлаждения (нагревания) тела, темп охлаждения. Использование регулярного режима для экспериментального определения температуропроводности и теплопроводности материалов; теоремы Кондратьева.

Задание 2.9.5

Законы излучения абсолютно черного тела

Задание 2.9.6

Режимы кипения в большом объеме, кривая кипения.

Задание 2.9.7

Критериальные уравнения конвективного теплообмена. Безразмерные критерии подобия (Рейнольдса, Прандтля, Релея, Пекле, Грасгофа, Нуссельта)

Задание 2.9.8

Основные уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов. Средний температурный напор.

Задание 2.9.9

Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя.

Задание 2.9.10

Расчётные формулы для местного и среднего коэффициента теплоотдачи (КТО) при вынужденном обтекании жидкостью плоской поверхности. Влияние режима движения жидкости на КТО.

Пример выполнения задания 2.9.3

В соответствии с методом разделения переменных на пространственную и временную части, предложенным Фурье для решения дифференциального уравнения теплопроводности, искомая функция $\Theta(X, Fo)$ записывается в виде:

$$\Theta(X, Fo) = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\left(\frac{2 \cdot \sin(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i + \cos(\varepsilon_i) \cdot \sin(\varepsilon_i)} \right) \cdot \cos(\varepsilon_i \cdot X) \cdot e^{-(\varepsilon_i)^2 \cdot Fo} \right]$$

Здесь X - безразмерная координата $X = x/\delta$, изменяющаяся от 0 до 1;
 $Fo = a \cdot \tau / \delta^2$ - число Фурье (безразмерное время), изменяющееся от 0 до ∞ , в реальности задаётся промежутком времени охлаждения;

δ - полутолщина пластины, м;

a - коэффициент температуропроводности материала пластины, m^2/c ;

Θ - безразмерная температура пластины, представляющая собой отношение избыточной (над температурой охлаждающей жидкости $t_{ж}$) температуры пластины в момент времени τ : $t(x, \tau) - t_{ж}$ к максимальной избыточной её температуре $t_0 - t_{ж}$ в начальный момент времени $\tau = 0$;

$e^{-(\varepsilon_i)^2 \cdot Fo}$ - временные и $\cos(\varepsilon_i \cdot X)$ - пространственные части функции искомой температуры.

Пространственные части являются собственными функциями задачи Штурма-Лиувилля для декартовой системы координат в условиях симметрии охлаждения, где ε_i - собственные числа, соответствующие этим функциям, которые находят из решения характеристического уравнения $\varepsilon_i \cdot \operatorname{tg} \varepsilon_i = Bi$.

Bi - число Био - параметр граничного условия - отношение термических сопротивлений теплопроводности пластины и теплоотдачи к её поверхности: $(\delta/\lambda)/(1/\alpha)$.

Дробь в сумме представляет собой коэффициент разложения искомой функции в ряд и определяется видом начального распределения температуры в пластине (в нашем случае начальная температура принята постоянной) с использованием свойства ортогональности собственных функций в области интегрирования уравнения.

Число членов ряда, удерживаемых в расчёте для достижения приемлемой точности, зависит от заданного промежутка времени: при малых временах - начальная стадия охлаждения - это число велико и определяется возможностями вычислителя, для большого временного промежутка - Fo больше 1 - достаточно вычислить один первый член. Оценка точности результата вычислений - обычная: по остаточному члену ряда.

Блок №3 Технология воды и топлива в энергетике

Задание экзаменационного билета № 3.1 (4 балла)

Задание 3.1.1

Что такое массовая концентрация?

- 1) количество молей растворенного вещества в единице объема раствора
- 2) масса растворенного вещества в единице объема раствора
- 3) масса растворенного вещества в единице массы раствора
- 4) масса растворителя в единице массы раствора

Задание 3.1.2

Что такое массовая доля растворенного вещества?

- 1) отношение массы растворенного вещества к массе раствора
- 2) отношение массы растворенного вещества к массе растворителя
- 3) отношение массы растворителя к массе раствора
- 4) отношение массы растворителя к массе растворенного вещества

Задание 3.1.3

Что такое молярность?

- 1) количество молей растворенного вещества в единице объема раствора
- 2) количество молей растворенного вещества в единице массы раствора
- 3) масса растворенного вещества в единице массы раствора
- 4) масса растворителя в единице массы раствора

Задание 3.1.4

Какие вещества относятся к минеральным примесям природных вод?

- 1) белковые вещества
- 2) растворенные в воде соли (кальций, магний, натрий и др.)
- 3) жиры
- 4) гуминовые вещества

Задание 3.1.5

Какие примеси позволяет удалить обработка воды методом осаждения?

- 1) металлы
- 2) растворенные газы
- 3) коллоидные
- 4) истинно-растворенные

Задание 3.1.6

Как изменяется солесодержание воды в поверхностном источнике водоснабжения в паводковый период?

- 1) увеличивается
- 2) остается постоянным
- 3) уменьшается
- 4) сначала уменьшается, потом увеличивается

Задание 3.1.7

Как изменяется щелочность воды в поверхностном источнике водоснабжения в паводковый период?

- 1) увеличивается
- 2) остается постоянной

- 3) уменьшается
- 4) сначала уменьшается, потом увеличивается

Задание 3.1.8

Как изменяется жесткость воды в поверхностном источнике водоснабжения в паводковый период?

- 1) увеличивается
- 2) остается постоянной
- 3) уменьшается
- 4) сначала уменьшается, потом увеличивается

Задание 3.1.9

Как влияют сельскохозяйственные стоки на качество воды поверхностного источника водоснабжения?

- 1) снижают концентрацию ГДП
- 2) снижают окисляемость
- 3) повышают прозрачность
- 4) увеличивают мутность

Задание 3.1.10

В каких водах обычно выше щелочность: поверхностных или подземных?

- 1) поверхностных
- 2) подземных (артезианских)
- 3) обычно примерно одинакова
- 4) щелочность в обоих типах вод отсутствует

Пример выполнения задания 3.1.2

Правильный ответ – 1: отношение массы растворенного вещества к массе раствора.

1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
2	1	1	2	3	3	3	3	4	2

Задание экзаменационного билета № 3.2 (4 балла)

Задание 3.2.1

В какую окраску переходит раствор при титровании бикарбонатной щелочности в присутствии метилоранжа?

- 1) оранжевая
- 2) бесцветная
- 3) желтую
- 4) фиолетовая

Задание 3.2.2

Какие действия следует предпринять в том случае, если анализируемая проба на щелочность не окрасилась от прибавления фенолфталеина?

- 1) повторно отобрать пробу
- 2) ввести метилоранж
- 3) титровать до появления окраски
- 4) добавить ещё фенолфталеин

Задание 3.2.3

Какой расход кислоты отвечает суммарному содержанию щелочных соединений?

- 1) от начала титрования щелочности и до изменения окраски метилоранжа

- 2) от изменения окраски фенолфталеина до изменения окраски метилоранжа
- 3) от начала титрования щелочности и до изменения окраски фенолфталеина
- 4) на титрование гидролитически щелочных солей до изменения окраски индикатора

Задание 3.2.4

По какой причине бикарбонатная и гидратная щелочности не могут совместно присутствовать в растворе?

- 1) взаимодействие с образованием карбонатов
- 2) реакция с образованием соляной кислоты
- 3) реакция гидратации
- 4) взаимодействие с присоединением водорода

Задание 3.2.5

Укажите анионы, обуславливающие бикарбонатную щелочность воды

- 1) HCO_3^-
- 2) CO_3^{2-}
- 3) OH^-
- 4) H^+

Задание 3.2.6

Укажите анионы, обуславливающие карбонатную щелочность воды

- 1) HCO_3^-
- 2) CO_3^{2-}
- 3) OH^-
- 4) H^+

Задание 3.2.7

Укажите анионы, обуславливающие гидратную щелочность воды

- 1) HCO_3^-
- 2) CO_3^{2-}
- 3) OH^-
- 4) H^+

Задание 3.2.8

Укажите индикаторы, используемые при определении щелочности воды.

- 1) Метиловый оранжевый. Фенолфталеин. Смешанный индикатор
- 2) Кислотный хром темносиний. Метиловый оранжевый.
- 3) Фенолфталеин. Метиловый красный.
- 4) Кислотный хром темносиний. Мурексид.

Задание 3.2.9

Дайте определение жесткости воды

- 1) содержание катионов кальция и магния, выраженное в миллиграмм-эквивалентах в кубическом дециметре
- 2) содержание катионов, находящихся в воде, выраженное в миллиграмм-эквивалентах в кубическом дециметре
- 3) содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами
- 4) содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными основаниями

Задание 3.2.10

По какой причине жесткая вода не пригодна для подпитки паровых котлов?

- 1) при кипячении образуется накипь вследствие оседания солей кальция и магния

- 2) при кипячении воду покидает кислород, а в осадок выпадает значительная часть катионов
- 3) при кипячении в воде известь и другие минералы, химические элементы, кристаллизуются и оседают на стенки и дно кипятильного оборудования
- 4) при кипячении ионы жесткости образуют с анионами сильных кислот малорастворимые соединения, которые откладываются на стенках труб

Пример выполнения задания 3.2.10

Правильный ответ – 1: жесткая вода содержит соли кальция и магния и при кипячении образуется накипь вследствие оседания солей кальция и магния.

2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
1	2	1	1	1	2	3	1	1	1

Задание экзаменационного билета № 3.3 (4 балла)

Задание 3.3.1

Общая жесткость воды разделяется на

- 1) гидратную и некарбонатную жесткости
- 2) гидратную и карбонатную жесткости
- 3) карбонатную и бикарбонатную жесткости
- 4) карбонатную и некарбонатную жесткости

Задание 3.3.2

Что называют жесткостью воды?

- 1) сумма концентраций находящихся в воде катионов кальция и магния
- 2) сумма концентраций находящихся в воде катионов натрия и калия
- 3) сумма концентраций находящихся в воде всех катионов
- 4) сумма концентраций находящихся в воде всех анионов

Задание 3.3.3

Укажите индикаторы, используемые при определении жесткости воды.

- 1) Метилоранжевый. Фенолфталеин. Смешанный индикатор
- 2) Кислотный хром темносиний. Метилоранжевый.
- 3) Фенолфталеин. Метилоранжевый.
- 4) Кислотный хром темносиний. Мурекид.

Задание 3.3.4

Какие растворы называют буферными (буферами)?

- 1) растворы с определенной устойчивой концентрацией водородных ионов
- 2) растворы с $\text{pH} = 7$
- 3) растворы с $\text{pH} > 7$
- 4) растворы с $\text{pH} < 7$

Задание 3.3.5

Выберите правильный ответ при вычислении pH раствора.

- 1) $\text{pH} = -\lg(C_{\text{OH}^-})$
- 2) $\text{pH} = -\lg(a_{\text{OH}^-})$
- 3) $\text{pH} = -\lg(a_{\text{H}^+})$
- 4) $\text{pH} = -\lg(C_{\text{H}^+})$

Задание 3.3.6

Что такое электрическая проводимость воды?

- 1) величина, характеризующая концентрацию катионов в воде
- 2) величина, характеризующая концентрацию анионов в воде
- 3) величина, характеризующая состояние среды
- 4) величина, характеризующая концентрацию всех ионов в воде

Задание 3.3.7

Укажите прибор автоматического химконтроля для измерения электрической проводимости воды

- 1) кондуктометр
- 2) рН-метр
- 3) фотоколориметр
- 4) титровальная установка

Задание 3.3.8

Что характеризует окисляемость воды?

- 1) загрязненность воды органическими веществами
- 2) загрязненность воды взвешенными веществами
- 3) загрязненность воды истинно-растворенными веществами
- 4) загрязненность воды растворенными газами

Задание 3.3.9

Укажите основные назначения процесса коагуляции?

- 1) снижение жесткости воды
- 2) снижение концентрации ионных примесей
- 3) снижение концентрации грубодисперсных примесей
- 4) удаление коллоидных примесей

Задание 3.3.10

Концентрация каких примесей снижается в осветлителе при коагуляции?

- 1) солей общей жесткости
- 2) хлоридов
- 3) органических
- 3) сульфатов

Пример выполнения задания 3.3.10

Правильный ответ – 3: Коагуляция примесей воды - это процесс укрупнения мельчайших коллоидных частиц, происходящий вследствие их взаимного слипания под действием сил молекулярного притяжения. В водоподготовке под коагуляцией воды понимают обработку ее специальными веществами – коагулянтами с целью удаления из нее коллоидных и других органических загрязнений.

3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
4	1	4	1	3	4	1	1	4	3

Задание экзаменационного билета № 3.4 (4 балла)

Задание 3.4.1

Какое соединение образуется при гидролизе сернокислого алюминия?

- 1) сульфид алюминия
- 2) гидроксид алюминия

- 3) сульфат алюминия
- 4) гидрокарбонат алюминия

Задание 3.4.2

Какое должно быть значение pH коагулированной воды для достижения полноты выделения гидрооксида алюминия?

- 1) $< 5,5$
- 2) $5,5 - 7,5$
- 3) $> 7,5$
- 4) $7,0$

Задание 3.4.3

Укажите назначение подогрева воды перед подачей ее в осветлитель для коагуляции

- 1) частичное обеззараживание для улучшения процесса коагуляции
- 2) для перевода гидрокарбонатной щелочности в карбонатную и дальнейшего выпадения CaCO_3
- 3) для повышения скорости реакций
- 5) для повышения прозрачности воды

Задание 3.4.4

Какой реагент может быть использован в качестве коагулянта при совместном проведении коагуляции и известкования?

- 1) оксихлорид алюминия
- 2) сернокислый алюминий
- 3) полиакриламид
- 4) сернокислое железо

Задание 3.4.5

Что сначала дозируется в исходную воду?

- 1) коагулянт
- 2) флокулянт
- 3) известковое молоко
- 4) все реагенты дозируются одновременно

Задание 3.4.6

Для чего предназначен осветлительный фильтр?

- 1) обессоливание воды
- 2) удаление кремнекислоты
- 3) удаление органических примесей
- 4) удаление механических примесей

Задание 3.4.7

Какой фильтрующий материал используется на осветлительных фильтрах установки предварительной очистки воды?

- 1) дробленый антрацит
- 2) катионит
- 3) анионит
- 4) без фильтрующего материала

Задание 3.4.8

Укажите назначение осветлительного (механического) фильтра, установленного после осветлителя в схеме подготовки добавочной воды

- 1) снижение концентрации грубодисперсных примесей
- 2) снижение концентрации коллоидных примесей
- 3) снижение жесткости воды
- 4) снижение щелочности воды

Задание 3.4.9

Как изменяется щелочность при очистке воды в насыпном осветлительном фильтре?

- 1) незначительно увеличивается
- 2) остается неизменной
- 3) незначительно уменьшается
- 4) значительно уменьшается

Задание 3.4.10

Как изменяется жесткость при очистке воды в насыпном осветлительном фильтре?

- 1) значительно увеличивается
- 2) незначительно увеличивается
- 3) остается неизменной
- 4) незначительно уменьшается

Пример выполнения задания 3.3.10

Правильный ответ – 3: насыпной осветлительный фильтр не меняет жесткость воды.

4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
2	2	3	4	1	4	1	1	2	3

Задание экзаменационного билета № 3.5 (4 балла)

Задание 3.5.1

В баке мернике находится раствор гидроксида натрия для регенерации анионитных фильтров с концентрацией 4 г/дм³ (плотность раствора 1,0430 г/см³). Определите pH этого раствора.

- 1) 1
- 2) 7
- 3) 13
- 4) 14

Задание 3.5.2

Определите производительность ВПУ для ТЭС высокого давления с 4 энергоблока с барабанными котлами, мощность каждого из которых по 800 МВт/ч при удельном расходе пара 3 т/МВт и сжигающей 560 т/ч мазута. Продувку котла примите равной 1%.

- 1) 388 т/ч
- 2) 468 т/ч
- 3) 9972 т/ч
- 4) 38484 т/ч

Задание 3.5.3

Определите жесткость известково-коагулированной воды ($J_{\text{о}}^{\text{и+к}}$), если доза коагулянта $D_{\text{к}} = 0,4$ мг-экв/дм³, избыток извести принять $I_{\text{и}} = \text{Щ}_{\text{г}} = C_{\text{OH}^-} = 0,2$ мг-экв/дм³. Остаточная карбонатная и бикарбонатная щелочность составляет $\text{Щ}_{\text{к+бк}}^{\text{и+к}} = 0,6$ мг-экв/дм³.

Показатели качества исходной воды следующие [мг-экв/дм³]: $\text{Na}^+ = 0,80$; $\text{Ca}^{2+} = 3,60$; $\text{Mg}^{2+} = 2,00$; $\text{Cl}^- = 0,85$; $\text{SO}_4^{2-} = 4,20$; $\text{HCO}_3^- = 2,40$; $\text{CO}_2 = 0,40$.

- 1) 3,8 мг-экв/дм³

- 2) 4,2 мг-экв/дм³
- 3) 4,4 мг-экв/дм³
- 4) 6,8 мг-экв/дм³

Задание 3.5.4

Определите дозу извести при гидратном режиме известкования, если исходная вода поступает следующего состава [мг-экв/дм³]: $\text{Жо} = 4,5$; $\text{Ca}^{2+} = 3,2$; $\text{Що} = 2,5$, $\text{CO}_2 = 0,3$; $\text{Дк} = 0,5$, $\text{И}_и = 0,2$.

- 1) 3,3 мг-экв/дм³
- 2) 4,8 мг-экв/дм³
- 3) 6,7 мг-экв/дм³
- 4) 8,0 мг-экв/дм³

Задание 3.5.5

Определите остаточную щелочность известково-коагулированной воды ($\text{Що}^{\text{н+к}}$), если доза коагулянта $\text{Дк} = 0,4$ мг-экв/дм³, избыток извести принять $\text{И}_и = \text{Щ}_г = \text{C}_{\text{OH}^-} = 0,15$ мг-экв/дм³, а общая жесткость снизилась на 20%.

Показатели качества исходной воды следующие [мг-экв/дм³]: $\text{Na}^+ = 0,80$; $\text{Ca}^{2+} = 3,10$; $\text{Mg}^{2+} = 1,40$; $\text{Cl}^- = 0,85$; $\text{SO}_4^{2-} = 4,20$; $\text{HCO}_3^- = 2,10$; $\text{CO}_2 = 0,40$.

- 1) 0,70 мг-экв/дм³
- 2) 0,75 мг-экв/дм³
- 3) 0,80 мг-экв/дм³
- 4) 0,85 мг-экв/дм³

Задание 3.5.6

Оцените значение грязеемкости фильтрующего материала однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 2,6 м и высотой загрузки 0,9 м, если до момента отключения фильтра из работы через него было пропущено 600 м³ исходной воды с концентрацией примесей 10 мг/дм³ за 10 ч.

- 1) 12,5 г/м³
- 2) 125 г/м³
- 3) 1255 г/м³
- 4) 12550 г/м³

Задание 3.5.7

Рассчитайте фильтроцикл однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 3,0 м, с высотой загрузки материала 0,9 м и производительностью 90 м³/ч, при фильтровании исходной воды с концентрацией примесей 10 мг/дм³. Грязеемкость фильтрующего материала составляет 2 кг/м³.

- 1) 14 ч
- 2) 11 ч
- 3) 6,0 ч
- 4) 4,5 ч

Задание 3.5.8

Определите объем воды, расходуемый на взрыхление однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 2,0 м и высотой загрузки 0,8 м, если взрыхление осуществляется с интенсивностью 12 дм³/(м²·с) в течение 20 мин.

- 1) 10 м³
- 2) 12 м³
- 3) 36 м³
- 4) 45 м³

Задание 3.5.9

Рассчитайте количество воды для приготовления 4% ($\rho = 1,043 \text{ г/см}^3$) регенерационного раствора анионита в фильтре смешанного действия диаметром 2,0 м, высотой загрузки слоя анионита 1,2 м, если удельный расход 100% реагента на одну регенерацию составляет 250 кг.

- 1) 6 м^3
- 2) 12 м^3
- 3) 18 м^3
- 4) 60 м^3

Задание 3.5.10

Определите значение рабочей обменной емкости катионита до проскока Н-катионитного фильтра I ступени диаметром 3,0 м, с высотой слоя загрузки катионита 1,2 м по заданным значениям: количество обработанной воды за фильтроцикл 1400 м^3 , суммарное содержание катионов поступающих на фильтр ($\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+$) = $3,8 \text{ мг-экв/дм}^3$, остаточное содержание ионов Na^+ в фильтрате составило $0,8 \text{ мг-экв/дм}^3$

- 1) 500 г-экв/м^3
- 2) 600 г-экв/м^3
- 3) 630 г-экв/м^3
- 4) 1170 г-экв/м^3

Пример выполнения задания 3.5.5

$$\text{Жо}^{\text{и+к}} = 0,8 \cdot (3,1 + 1,4) = 0,8 \text{ мг-экв/дм}^3$$

$$\text{Що}^{\text{и+к}} = \text{Жо}^{\text{и+к}} - \text{Жо}^{\text{исх}} + \text{Що}^{\text{исх}} - \text{Дк} = 3,6 - 4,5 + 2,1 - 0,4 = 0,8 \text{ мг-экв/дм}^3$$

Правильный ответ – 3.

5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10
3	2	3	2	3	3	1	4	1	1

Задание экзаменационного билета № 3.6 (10 баллов)

Задание 3.6.1

Двухступенчатая схема обессоливания добавочной воды на ТЭС. Особенности и условия применения.

Задание 3.6.2

Трёхступенчатая схема обессоливания добавочной воды на ТЭС. Особенности и условия применения.

Задание 3.6.3

Схемы подготовки умягченной воды для тепловых сетей. Особенности и условия применения.

Задание 3.6.4

Технологические показатели качества воды.

Задание 3.6.5

Предварительная очистка воды методами осаждения. Физико-химические процессы, протекающие в воде при коагуляции и известковании.

Задание 3.6.6

Предварительная очистка воды методами фильтрования. Осветительные фильтры насыпного и намывного типа.

Задание 3.6.7

Закон электронейтральности и проведение проверки правильности анализа состава водного источника (с примером).

Задание 3.6.8

Блочно-обессоливающая установка. Особенности и условия применения.

Задание 3.6.9

Мембранные методы очистки воды. Способы опреснения и обессоливания воды с использованием мембран.

Задание 3.6.10

Термические методы очистки воды. Процесс очистки воды в испарителях.

Пример выполнения задания 3.6.7

Примеси в водах содержатся в трех видах:

- Грубодисперсные примеси (диаметр более 100 нм)
- Коллоидные примеси (диаметр от 1 до 100 нм)
- Ионы (диаметр менее 1 нм)

В грубодисперсной форме могут находиться: песок, частицы продуктов коррозии.

Коллоидные примеси: оксиды кремния, железа, алюминия, органические примеси.

В ионной форме в водах находятся: кальций, магний, натрий, хлориды, сульфаты, растворенные газы.

Наличие взвешенных веществ можно определить с помощью трех показателей:

- Взвешенные вещества, [г/дм³]
- Прозрачность, [см]
- Мутность, [г/дм³]

Минеральный остаток (общее солесодержание) – сумма концентраций всех содержащихся в воде катионов, анионов, оксидов Al_2O_3 , Fe_2O_3 . [мг/дм³]

Концентрация основных ионов определяется методом химического анализа.

Закон электронейтральности

Сумма концентраций всех имеющихся в воде катионов равна сумме анионов:

$$\sum C_{Kt} = \sum C_{An}, \left[\frac{\text{мг} - \text{экв}}{\text{дм}^3} \right]$$

При проведенном химическом анализе допускается ошибка Δ в определении ионов:

$$\Delta = \frac{\sum C_{Kt} - \sum C_{An}}{\sum C_{Kt} + \sum C_{An}} \cdot 100\% < 1\%$$

Переведём исходную массовую концентрацию в нормальную (эквивалентную) по следующей формуле:

$$C_n = \frac{C_m \cdot n}{Mr}$$

Осуществим проверку правильности химического анализа воды, составлением катионно-анионного баланса:

$$\begin{aligned} \sum K_t &= Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ = 1,4 + 1,417 + 1,57 = 4,385 \text{ мг} - \text{экв/л} \\ \sum A_n &= HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^- + SiO_3^{2-} = 2,705 + 0,66 + 0,958 + 0,15 = 4,473 \text{ мг} - \text{экв/л} \\ \Delta &= \frac{|K_t - A_n|}{K_t + A_n} * 100\% = \frac{|4,385 - 4,473|}{4,385 + 4,473} * 100\% = 0,978\% \end{aligned}$$

Так как $\Delta < 1\%$, то полученный анализ можно использовать для дальнейшего расчёта.

Задание экзаменационного билета № 3.7 (10 баллов)

Задание 3.7.1

Основные пути поступления примесей в конденсатно-питательный тракт ТЭС.

Задание 3.7.2

Классификация процессов коррозии по видам разрушения конструкционного материала.

Задание 3.7.3

Особенности применения гидразинно-аммиачного водно-химического режима на ТЭС с прямоточными котлами.

Задание 3.7.4

Особенности применения окислительных водно-химических режимов на ТЭС с прямоточными котлами.

Задание 3.7.5

Режимы процессов фосфатирования котловой воды. Особенности применения.

Задание 3.7.6

Образование защитных пленок на поверхности конструкционных материалов..

Задание 3.7.7

Образование отложений на теплогенерирующих поверхностях.

Задание 3.7.8

Закономерности перехода примесей их кипящей воды в насыщенный пар.

Задание 3.7.9

Элетрохимическая коррозия. Основные понятия, процессы, схема.

Задание 3.7.10

Удаление отложений из пароводяного тракта ТЭС, основные принципы химических промывок.

Пример выполнения задания 3.7.1

Существует перечень источников поступления примесей в пароводяной тракт тепловых электрических станций. Краткий перечень представлен в табл.1

Таблица 1

Основные источники примесей

Источники загрязнения	Характеристика загрязнения
Неплотности в конденсаторах и сетевых подогревателях	Соединения, содержащиеся в охлаждающей или сетевой воде
Добавочная вода	Соединения натрия, кремниевая кислота, органические соединения
Коррозия оборудования пароводяного тракта	Соединения железа, меди, цинка, никеля, алюминия и других конструкционных материалов
Подшипники	Масла
Конденсат, возвращаемый с производства	Зависит от технологического цикла, в котором используется пар
Присосы в сальниках насосов	Углекислота, кислород
Реагенты, используемые для коррекции водно-химического режима	Зависит от типа энергетического оборудования, параметров эксплуатации данного оборудования и конструкционных материалов

В зависимости от источника поступления, существуют определённые механизмы поступления примесей в пароводяной тракт ТЭС. Некоторые механизмы рассмотрены ниже.

Неплотности в конденсаторах и сетевых подогревателях. Паровая среда, находится в объёме конденсатора под давлением 3 – 4 кПа. Рабочее давление охлаждающей воды 0,2 – 0,3 МПа. Из-за разницы давлений активизируется процесс «перетока» охлаждающей воды в пароводяной тракт. Вместе с охлаждающей водой, в тракт станции попадают примеси, что приводит к загрязнению теплоносителя. «Перетоки» определяются гидравлической неплотностью оборудования, а именно:

- дефектами структуры металла;
- дефектами монтажа элементов конденсатора;
- зазорами в соединении трубок с трубными досками;
- трещинами в трубах из-за вибрации и термических напряжений;
- коррозионным разрушением стенок труб (сквозные свищи, трещины).

Задание экзаменационного билета № 3.8 (10 баллов)

Задание 3.8.1

Измерение рН теплоносителя: назначение, принцип измерения.

Задание 3.8.2

Потенциометрический метод измерения концентрации ионов натрия.

Задание 3.8.3

Фотоколориметрический метод анализа состава пробы теплоносителя.

Задание 3.8.4

Устройства отбора пробы. Виды пробоотборных зондов.

Задание 3.8.5

Устройство подготовки пробы и требования к нему.

Задание 3.8.6

Измерение удельной электрической проводимости кондуктометрическим методом.

Задание 3.8.7

Амперометрический метод измерения растворенных газов в теплоносителе.

Задание 3.8.8

Измерение редокс-потенциала теплоносителя: назначение, принцип измерения.

Задание 3.8.9

Динамические характеристики средств измерений.

Задание 3.8.10

Виды и названия теплоносителя на ТЭС. Водные контуры ТЭС.

Пример выполнения задания 3.8.10

Виды и названия теплоносителя на ТЭС. Водные контуры ТЭС.

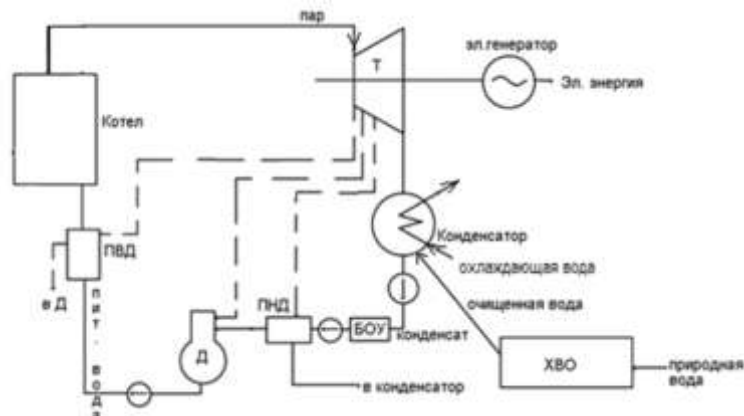


Рис. 1.1. Принципиальная тепловая схема ТЭС

Вода и водяной пар являются основным рабочим телом (теплоносителем) на тепловых электрических станциях (ТЭС). В зависимости от агрегатного состояния и места нахождения по тракту теплоноситель имеет следующие названия (рис. 1.1):

- конденсат – теплоноситель, находящийся в конденсатном тракте от конденсатора до деаэратора;
- пар – продукт перехода воды в газообразное состояние. На ТЭС паром называется теплоноситель, находящийся в паровом тракте от котла до турбины;
- питательная вода – теплоноситель, находящийся на ТЭС в питательном тракте от деаэратора до котла;
- продувочная вода – вода с повышенной концентрацией примесей, выводимая из замкнутого контура (продувочная вода котла, продувочная вода циркуляционной системы);
- охлаждающая вода – вода циркуляционной системы или оборотного охлаждения конденсатора;
- подпиточная вода – вода, служащая для подпитки тепловой сети;
- сетевая вода – теплоноситель тепловой сети;
- исходная вода – вода поверхностного источника (река, водоём и т.д.), направленная на водоподготовительную установку (ВПУ), установку химической водоочистки (ХВО) или для восполнения потерь в циркуляционную систему;
- добавочная вода – вода, предназначенная для использования в качестве рабочего тела в основном контуре ТЭС, прошедшая предварительную обработку на установке ВПУ.

На ТЭС имеются следующие основные контуры, заполненные водным теплоносителем:

- основной контур, включающий: конденсатор, подогреватели низкого давления (ПНД), деаэратор, подогреватели высокого давления (ПВД), котел, турбину;
- система теплоснабжения;
- циркуляционная система (контур охлаждения пара в конденсаторе).

Основной тепловой контур ТЭС замкнут – это связано с требованием режима эксплуатации. Замкнутость цикла и восполнение потерь теплоносителя в цикле специально подготовленной на ВПУ водой (добавочной водой) – обязательный признак современной ТЭС.

Задание экзаменационного билета № 3.9 (10 баллов)

Задание 3.9.1

Комплексометрическое титрование. Методика определения жесткости воды.

Задание 3.9.2

Включение деаэраторов в тепловые схемы ТЭС и теплоснабжения.

Задание 3.9.3

Кислотно-основное титрование. Методика определения щелочности воды.

Задание 3.9.4

Энергетические топлива. Стадии залегания с описанием, классификация.

Задание 3.9.5

Основы процессов получения мазута.

Задание 3.9.6

Контроль качества топлива на ТЭС.

Задание 3.9.7

Декарбонизация. Технология применения декарбонизаторов для подготовки воды на ТЭС.

Задание 3.9.8

Окислительное титрование. Методика определения перманганатной окисляемости воды.

Задание 3.9.9

Кинетика ионного обмена.

Задание 3.9.10

Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов.

Пример выполнения задания 3.9.6

Контроль качества топлива на электростанциях, как и учет его расхода, имеет особенно важное значение, так как в себестоимости вырабатываемой электрической и тепловой энергии доля затрат на топливо достигает 65 - 70%. Основным показателем эффективности использования топлива является удельный расход его на производство энергии: чем он ниже, тем выше экономичность электростанции. Снижение удельного расхода топлива на электростанциях осуществляется комплексом мероприятий, включающих повышение параметров пара и мощности энергоблоков, совершенствование тепловых схем и теплового оборудования, а также схем и методов подготовки и сжигания топлива с организацией оперативного и надежного контроля, его качества.

Контроль топлива на электростанциях существует двух видов: **входной и эксплуатационный**.

Целью входного контроля является

- определение качества топлива, поступающего на электростанцию, позволяющее правильно решать вопросы его складирования и использования;
- выявление партий топлива, качество которого не соответствует требованиям стандартов или расчетных удостоверений, представляемых предприятиями-поставщиками.

Эксплуатационный контроль организуется для

- определения количества и качества топлива, направляемого непосредственно на сжигание;
- определения удельного его расхода на производство электрической и тепловой энергии.

Значительные объемы сжигания топлива и производства электроэнергии требуют высокой точности и надежности определения его качества, что может быть обеспечено только при правильной организации подготовки пробы топлива к анализу. Под термином «подготовка пробы к анализу» обычно понимают:

- отбора объединенной (первичной) пробы от партии поступившего на электростанцию топлива или суточного (сменного) расхода его;
- отбор лабораторной пробы, включающей операции по ее измельчению и перемешиванию (усреднению) - в случае твердого топлива, и сокращению до массы 0,5 - 7 г в случае твердого или жидкого топлива;
- отбор лабораторной пробы, которую непосредственно будут анализировать.

Неправильно отобранная проба не является представительной. Под **представительностью** пробы понимается соответствие ее характеристик (с допустимой погрешностью) характеристикам всей партии топлива, из которой эта проба была взята. Неправильно отобранная проба, будучи непредставительной, обесценивает результаты последующего анализа. В этой связи пробу следует отличать от образца. Образец, отбираемый из партии топлива произвольно, дает представление лишь о внешнем виде топлива, не характеризуя с допустимой погрешностью все его свойства.

Чтобы проба была представительной (репрезентативной), она должна быть составлена из определенного количества порций (точечных проб), охватывающих всю массу топлива, поступающего на складирование или подаваемого на сжигание. Под **порцией** понимают определенное количество топлива, отобранное соответствующим устройством за один прием.

Составленная из равных по массе разовых порций, проба называется **объединенной (первичной)**. Пробы бывают различного вида; товарные, эксплуатационные, пластовые, буровые (керновые). В условиях электростанций отбираются товарные и эксплуатационные пробы, а также пробы для претензионной работы.

Товарные пробы отбираются от партии топлива, прибывающего на электростанцию и предназначенного для складирования (уголь, торф, мазут); **эксплуатационные пробы** отбираются от топлива, подаваемого непосредственно на сжигание (все виды энергетического топлива).

Степень представительности объединенной пробы связана со степенью однородности материала, числом и массой порций. Для однородных материалов (растворов, хорошо перемешанных тонких порошков) представительность практически абсолютна (при любой не очень малой массе). Для неоднородных материалов представительность снижается с уменьшением числа порций и массы пробы.

Блок №4 Автоматизированные системы управления объектами тепловых и атомных электрических станций

Задание экзаменационного билета № 4.1 (4 балла)

Задание 4.1.1

Раздел метрологии, отвечающий за задачи создания систем единиц измерений, эталонов образцовых мер и физических постоянных, обеспечения единства измерений, разработки методов проведения измерений, обработки результатов измерений, теории передачи и преобразования информации

1. Теоретическая метрология;
2. Методическая метрология;
3. Практическая метрология;
4. Законодательная метрология.

Задание 4.1.2

Раздел метрологии, отвечающий за решение задач по регулированию взаимоотношений между государственными контролирующими организациями, службами метрологии предприятий и производителями средств измерений

1. Теоретическая метрология;
2. Методическая метрология;
3. Практическая метрология;
4. Законодательная метрология.

Задание 4.1.3

Технические средства, предназначенные для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины;

1. Меры
2. Образцовые средства измерений
3. Эталоны
4. Установки высшей точности

Задание 4.1.4

Если искомое значение находят по результатам прямых измерений, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью, это:

1. Совместные измерения
2. Косвенные измерения
3. Совокупные измерения
4. Прямые измерения

Задание 4.1.5

Какая физическая величина имеет единицу измерения $\text{кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-2}$?

1. Сила (Ньютон)
2. Работа (Джоуль)
3. Давление (Паскаль)

Задание 4.1.6

Какая физическая величина имеет единицу измерения

$\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}$

1. Сила (Ньютон)

2. Работа (Джоуль)
3. Давление (Паскаль)

Задание 4.1.7

Совокупность операций, устанавливающее соотношение между значением величины, полученной с помощью данного средства измерения, и соответствующим значением величины, определенной с помощью эталона, с целью установления действительных метрологических характеристик и пригодности СИ, не подлежащего государственному метрологическому надзору.

1. Калибровка средств измерения;
2. Поверка СИ;
3. Регулировка СИ;
4. Градуировка СИ;

Задание 4.1.8

Средства хранения и воспроизведения размера единиц физических величин, это:

1. Меры
2. Образцовые средства измерений
3. Эталоны
4. Установки высшей точности

Задание 4.1.9

Средство, обеспечивающее воспроизведение, хранение и передачу единицы величины с наивысшей в Российской Федерации точностью:

1. Образцовое средство измерения 1-ого порядка
2. Государственный первичный эталон
3. Исходные образцовые средства измерений
4. Эталоны – копии

Задание 4.1.10

Выберите верное утверждение:

1. Поверочная схема - метрологическая цепь передачи размера единицы от эталона к рабочим средствам измерения.
2. Поверочная схема - метрологическая цепь передачи размера единицы от образцовых средств измерений к рабочим средствам измерения
3. Поверочная схема - метрологическая цепь передачи размера единицы от образцовых средств измерений к эталонам
4. Поверочная схема - метрологическая цепь передачи размера единицы от образцовых средств измерений к рабочим средствам измерения

Пример выполнения задания 4.1.8

Правильный ответ -3.

В зависимости от назначения СИ делятся на три категории:

рабочие меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи;
образцовые меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи;
эталон.

Рабочие СИ – СИ, предназначенные для повседневных практических измерений
Различают рабочие СИ: 1) - повышенной точности (лабораторные) СИ; 2) - средней точности 3) - низкой точности.

Образцовые СИ – СИ, предназначенные для поверки и градуировки рабочих средств измерений. Верхний предел измерений образцовых СИ должен быть больше или равен верхнему пределу измерений поверяемого прибора.

Эталон– высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим СИ.

Задание экзаменационного билета № 4.2 (4 балла)

Задание 4.2.1

Определите чувствительность термометра сопротивления НСХ 50М

1. $S = 50 + \alpha t$;
2. $S = 1 + \alpha t$;
3. $S = 50\alpha$;

Задание 4.2.2

Класс точности рабочего манометра $\gamma = \pm 1,5\%$ Рассчитайте предел основной допускаемой погрешности манометра, если его диапазон измерения $D = -1,00 \div +5,00$ [кПа]

1. $\Delta = \pm 1,5$ [кПа];
2. $\Delta = \pm 0,09$ [кПа];
3. $\Delta = \pm 1,5$ [%];

Задание 4.2.3

Нормальные условия – это такие условия, которые:

1. Существенно влияют на результат измерения
2. Невозможно проследить зависимость оказания влияния нормальных условий на результат измерения
3. Не оказывают существенного влияния на результат измерения

Задание 4.2.4

Чувствительность платинового термопреобразователя сопротивления, НСХ которого

$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$ рассчитывается по формуле:

1. $S = R_0 + R_0At + R_0Bt^2$
2. $S = R_0At + R_0Bt^2$
3. $S = R_0A + 2R_0Bt$

Задание 4.2.5

Класс точности пружинного манометра (0,5)

С какой предельной погрешностью измеряется давление $P = 12,00$ [Па], если диапазон манометра $D = -1,00 \div +15,00$ [Па]

1. $P = 12,00 \pm 0,5$ [Па]
2. $P = 12,00 \pm 0,08$ [Па]
3. $P = 12,00 \pm 0,06$ [Па]

Задание 4.2.6

С какой погрешностью измеряется температура $t = 180$ °С микропроцессорным средством измерения, класс точности которого $\gamma = \pm(0,5 + *)$ [%], если диапазон измерения $D = 0 - 200$ [°С], единица последнего разряда 1 [°С],

1. $t = 180,0 \pm 1,0$ [°С],

2. $t=180,0\pm 0,5[^\circ\text{C}]$,
3. $t=180,0\pm 2,0[^\circ\text{C}]$,

Задание 4.2.7

Обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей называется:

1. Номинальная статическая характеристика
2. Предел основной допустимой погрешности
3. Класс точности

Задание 4.2.8

Первичный преобразователь

1. Преобразователь, на выход которого воздействует непосредственно измеряемая величина.
2. Преобразователь, на вход которого не воздействует измеряемая величина.
3. Преобразователь, на вход которого воздействует непосредственно измеряемая величина.

Задание 4.2.9

С какой вероятностью непрерывная случайная величина, распределенная по нормальному закону попадает в интервал $m_x \pm 2\sigma$

1. $P=0,68$
2. $P=0,95$
3. $P=0,997$

Задание 4.2.10

Параметр средств измерений, связанный с результатом измерения и характеризующий разброс значений (например, ширина доверительного интервала, стандартное отклонение), которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине.

допускаемых основных и дополнительных погрешностей называется:

1. Погрешность измерений;
2. Предел основной допустимой погрешности
3. Неопределенность измерений;
4. Истинное значение измеряемой величины.

Пример выполнения задания 4.2.17

Правильный ответ -3.

Класс точности - это обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также рядом других свойств, влияющих на точность осуществляемых с их помощью измерений. Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность средства измерений одного типа, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью каждого

Из этих средств. При нормировании пределов основной относительной погрешности на приборе класс точности указывается числом (в %) в окружности либо дробью c/d . При нормировании пределов основной абсолютной погрешности на приборе класс точности указывается латинской буквой А, В, С. При нормировании пределов основной приведенной погрешности на приборе класс точности указывается числом (в %) без окружности.

Задание экзаменационного билета № 4.3 (4 балла)

Задание 4.3.1

Эффект Зеебека заключается в следующем:

1. Возникновении ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, нагреваемых в средней точке.
2. Возникновении ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах.
3. Возникновении ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников при соединении к ним третьего проводника

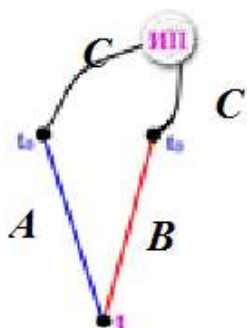
Задание 4.3.2

Эффект Томпсона заключается в следующем:

1. При пропускании тока через различные соединенные проводники, один конец проводника немного нагревается, а другой слегка охлаждается.
2. При пропускании тока через проводник, нагреваемый в средней точке, на концах проводника, равноудаленных от точки нагрева возникает разность температур
3. При погружении свободных концов проводника в электролиты с разной степенью диссоциации в проводнике наводится ЭДС

Задание 4.3.3

Условие подключения измерительного прибора (ИП) к термопаре в соответствии с «теоремой о третьем проводнике»:



1. У проводников C низкое удельное сопротивление
2. У проводников одинаковая зависимость ЭДС от температуры.
3. Температуры t_0 мест присоединения проводников A и B одинаковы.

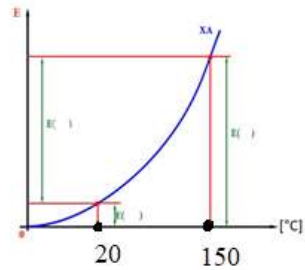
Задание 4.3.4

Номинальная статическая характеристика термоэлектрических преобразователей представляет собой:

1. зависимость термо-ЭДС от температуры рабочего спая при нулевой температуре свободных концов;
2. зависимость термоЭДС от температуры свободных концов при нулевой температуре рабочего спая;
3. значение сопротивления при 0°C

Задание 4.3.4

Какую ЭДС на графике НСХ ХА выдаёт термопара:



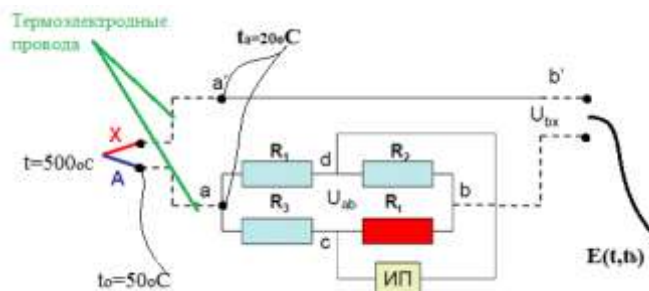
1. $E(0,20)$ мВ;
2. $E(150,0)$ мВ;
3. $E(150,20)$ мВ

Задание 4.3.5

Уравнение стандартной термопары:

1. $E(t,0) = E(t,t_0) - E(t_0,0)$
2. $E(t,0) = E(t,t_0) + E(t_0,0)$
3. $E(t_0,0) = E(t,0) + E(t,t_0)$

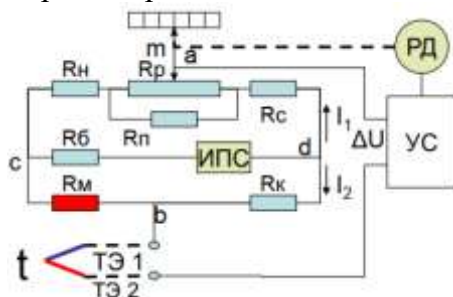
Задание 4.3.6 Чему равно ЭДС $E(t,t_b)$ в схеме автоматической компенсации температуры свободных концов ТЭП :



1. $E(t,t_b) = E(500,50)$ мВ;
2. $E(t,t_b) = E(50,20)$ мВ;
3. $E(t,t_b) = E(500,0)$ мВ;
4. $E(t,t_b) = E(500,20)$ мВ;

Задание 4.3.7

Какую функцию в данной схеме автоматического потенциометра выполняет терморезистор R_M



1. Обеспечивает балластное сопротивление ИПС
2. Обеспечивает установку рабочего тока 3 мА

3. Обеспечивает компенсация температуры свободных концов

Задание 4.3.8

Термометр сопротивления-это...

1. Преобразователь сопротивления, который имеет высокий температурный коэффициент
2. Прибор, предназначенный для измерения температуры внутри резистора
3. Комплект для измерения температуры, включающий термопреобразователь и вторичный прибор

Задание 4.3.9

Для изготовления ТС применяются материалы:

1. Алюминий;
2. Чистые металлы (Cu, Pt), полупроводниковые материалы ;
3. Железо, бериллий

Задание 4.3.10

Пример выполнения задания 4.3.4

Правильный ответ -1.

Для измерения температуры с помощью термопары необходимо рабочий (горячий) конец термопары поместить в контролируемую среду, а температуру свободного (холодного) спая стабилизировать. Если у нас ситуация, когда длины термопары не хватает, то термопреобразователь необходимо подключать к компенсатору специальными термоэлектродными удлиняющими проводами. По свойствам ТЭ-провода должны быть термоидентичны удлиняемым электродам, т.е. каждый электрод должен удлиняться своим проводом.

Затем измеряется ЭДС развиваемая термопарой и по градуировочной характеристике определяется температура.

Задание экзаменационного билета № 4.4 (4 балла)

Задание 4.4.1

Под абсолютным давлением понимают:

1. Разность атмосферного и вакууметрического давлений
2. Избыточное давление
3. Сумму атмосферного и избыточного давлений

Задание 4.4.2

Единица измерения давления в системе СИ:

1. Па
2. мм.рт.ст.
3. $\frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$ ($\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$)

Задание 4.4.3

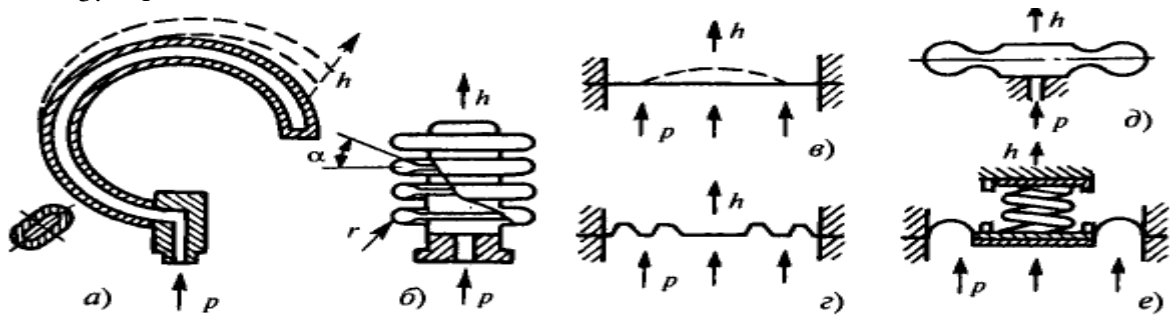
Напоромеры применяются для измерения:

1. избыточного давления
2. атмосферного давления
3. вакууметрического давления

Задание 4.4.4

На каком рисунке изображена трубчатая манометрическая пружина?

1. б
2. а
3. г



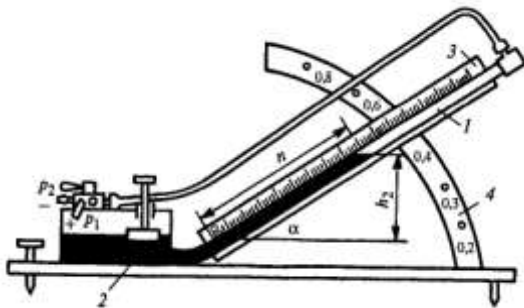
Задание 4.4.5

Преобразователи у которых принцип действия основан на изменении сопротивления резисторов, сформированных в эпитаксиальной пленке кремния на подложке из сапфира называются:

1. Пьезорезистивными
2. Кремнийрезистивными
3. Тензорезистивными

Задание 4.4.6

Чему равно измеренное давление, если $n=200$ делений, коэффициент $k=0,5$



1. $200 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$
2. $150 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$
3. $100 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$

Задание 4.4.7

Вам требуется измерить давление азотной кислоты. Какое устройство Вы примените при установке преобразователя давления:

1. Конденсационную петлю
2. Мембранный разделитель
3. Демпфер

Задание 4.4.8

Вам нужно измерить давление среды, характеризующееся стабильностью. Номинальное значение давления 16 МПа. Какой предел измерения должен быть у СИ:

1. 16 МПа
2. 20 МПа
3. 25 МПа

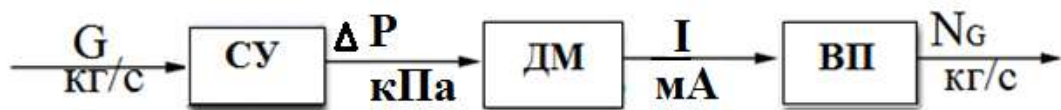
Задание 4.4.9

Возникновение перепада давлений на неподвижном сужающем устройстве в трубопроводе при движении через него потока жидкости или газа – это принцип действия какого расходомера?

1. Расходомер постоянного перепада давления
2. Электромагнитный расходомер
3. Расходомер переменного перепада давления

Задание 4.4.3

В каком из элементов структурной схемы измерения давления по перепаду на СУ предусмотрена функция извлечения корня :



1. Сужающее устройство (СУ)
2. Дифференциальный манометр (ДМ)
3. Вторичный прибор (ВП)

Пример выполнения задания 4.4.10

Правильный ответ -3.

Принцип измерения заключается в том, что при протекании потока через отверстие сужающего устройства повышается скорость потока (u) по сравнению со скоростью до

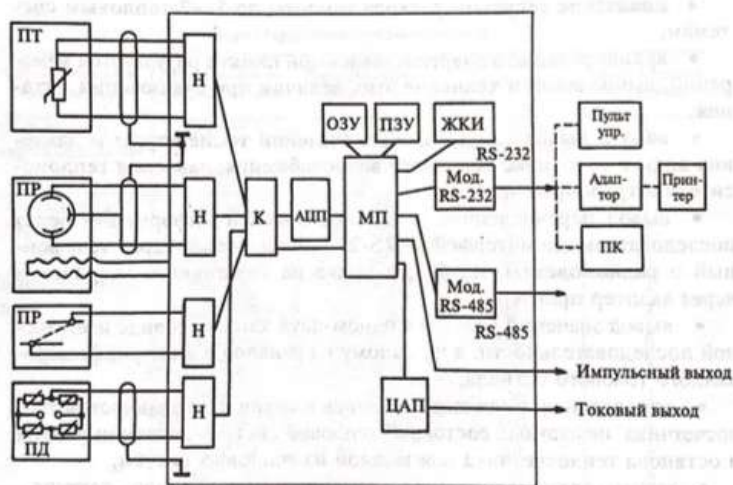
сужения. Увеличение скорости, а следовательно, и кинетической энергии $\frac{u \times \omega^2}{2}$

вызывает уменьшение потенциальной энергии и соответственно статического давления в этом сечении становится меньше статического давления перед сужающим устройством. Разность этих давлений тем больше, чем больше расход протекающей среды, и, следовательно, она может служить мерой расхода. Расход может быть определен при известной градуировочной характеристике $G = f(\Delta p)$ по перепаду давления $\Delta p = p_1 - p_2$ на сужающем устройстве, измеренному дифманометром.

Задание экзаменационного билета № 4.5 (4 балла)

Задание 4.5.1

Схема какого СИ представлена на рисунке ниже?



1. Структурная схема теплосчетчика;
2. Структурная схема расходомера к коррекцией температуры;
3. Структурная схема рН-метра.

Задание 4.5.2

В основе кондуктометрического метода анализа растворов лежит зависимость от суммарной концентрации растворенных ионов такого параметра раствора, как:

1. Удельная электропроводность
2. Поглощательная способность
3. Удельная теплоемкость

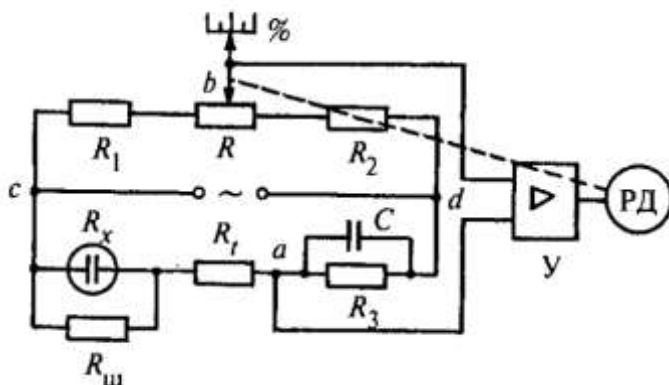
Задание 4.5.3

В каких пределах изменяется температура если уравнение Кольрауша имеет следующий вид $\kappa_t = \kappa_{25}(1 + \alpha(t - 25))$

1. $15 \div 25 \text{ } ^\circ\text{C}$
2. $0 \div 25 \text{ } ^\circ\text{C}$
3. $15 \div 35 \text{ } ^\circ\text{C}$

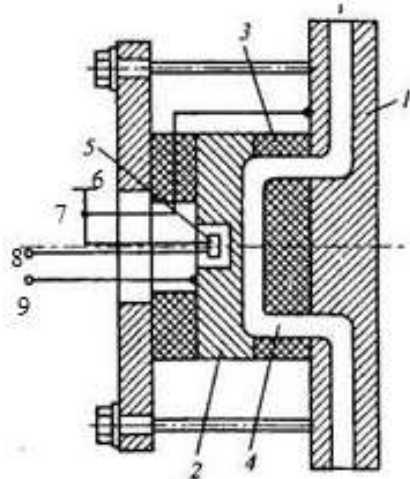
Задание 4.5.4

Назначение R_1 в данной измерительной схеме кондуктометра :



1. Компенсация влияния температуры раствора
2. Снижение влияния поляризации
3. Компенсация емкостной составляющей

Задание 4.5.5 Какой из элементов схемы компенсирует изменение температуры раствора



1. Элемент «1»
2. Элемент «3»
3. Элемент «5»

Задание 4.5.6

Если pH водного раствора равен 8, то среда...?

1. Нейтральная
2. Кислая
3. Щелочная

Задание 4.5.7

По какой формуле определяется значение pH?

1. $pH = -\lg [H^+]$
2. $pH = -\lg [OH^-]$
3. $pH = \lg [H^+]$

Задание 4.5.8

Уравнение Нернста имеет вид :

1. $E = RT(\ln a)/(nF)$
2. $E = E_0 + RT(\ln a)/(nF)$
3. $E = E_0 + RT(\ln a)$

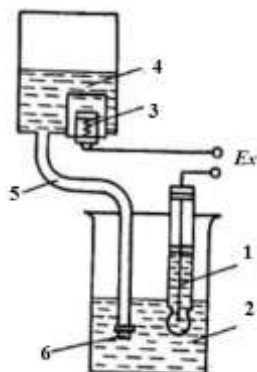
Задание 4.5.9

Что характеризуют координаты изопотенциальной точки?

1. Концентрацию анализируемых ионов, при которой потенциал электрода не зависит от температуры
2. Рассеивание анализируемых ионов, при которой потенциал электрода зависит от температуры
3. Концентрацию анализируемых ионов, при которой потенциал электрода зависит от температуры

Задание 4.5.10

Какой цифрой на схеме рН-метра обозначен электрод сравнения (вспомогательный электрод) ?



- 1. 1
- 2. 6
- 3. 3

Пример выполнения задания 4.5.9

Правильный ответ -1.

Результирующая ЭДС, развиваемая электродной системой, зависит от числа рН раствора и его температуры.

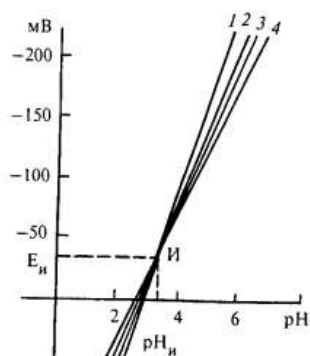


Рис. 17.13. Градуировочная характеристика электродной системы:
1—4 — $t^{\circ} = 100^{\circ}\text{C}; 60; 20; 0$

В точке «И» от температуры ЭДС не зависит, в связи с чем она называется изопотенциальной. В этой точке влияние температуры раствора на внешний E_3 и внутренние E_1, E_2 потенциалы стеклянного электрода взаимно скомпенсировано.

Задание экзаменационного билета № 4.6 (10 баллов)

Задание 4.6.1

Дана система из двух звеньев, соединенных последовательно. Первое звено – аperiodическое, коэффициент передачи этого звена равен 2, а постоянная времени равна 10. Второе звено – пропорциональное, коэффициент передачи этого звена равен 0,4. Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.2

Дана система из двух звеньев. Первое звено (апериодическое) охвачено отрицательной обратной связью, в которой находится второе (пропорциональное) звено. Коэффициент передачи апериодического звена равен 2, а постоянная времени этого звена равна 10. Коэффициент передачи пропорционального звена равен 0,4.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.3

Дана система из двух звеньев, соединенных последовательно. Первое звено – интегрирующее, коэффициент интегрирования равен 0,3. Второе звено – пропорциональное, коэффициент передачи этого звена равен 4.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.4

Дана система из двух звеньев. Первое звено (интегрирующее), охвачено отрицательной обратной связью, в которой находится второе (пропорциональное) звено. Коэффициент интегрирования равен 0,2. Коэффициент передачи пропорционального звена равен 5.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.5

Система из двух апериодических звеньев, соединенных последовательно, охвачена единичной отрицательной обратной связью. Коэффициент передачи и постоянная времени первого апериодического звена равны 1. Коэффициент передачи второго апериодического звена равен 2, постоянная времени второго апериодического звена равна 5.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.6

Дана система из двух звеньев, соединенных последовательно. Первое звено – реальное дифференцирующее, коэффициент передачи этого звена равен 2, постоянная времени дифференцирования равна 10. Второе звено – пропорциональное, его коэффициент передачи равен 0,5.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.7

Дана система из двух звеньев, соединенных последовательно. Оба звена пропорциональные, коэффициент передачи первого звена равен 0,4; коэффициент передачи второго звена равен 3,3.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.8

Апериодическое звено охвачено единичной отрицательной обратной связью.

Коэффициент передачи данного звена равен 2; постоянная времени данного звена равна 5.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.9

Интегрирующее звено охвачено единичной отрицательной обратной связью.

Коэффициент интегрирования звена равен 0,6.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Задание 4.6.10

Дана система из двух звеньев, соединенных последовательно. Первое звено – пропорциональное, коэффициент передачи этого звена равен 0,75. Второе звено – интегрирующее, коэффициент интегрирования этого звена равен 4,2.

Представьте эту систему в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Начертите переходную характеристику этого звена, покажите на графике параметры звена.

Пример выполнения задания 4.6

Пусть два звена соединены последовательно.

Первое звено – пропорциональное, его коэффициент передачи равен 0,8 ($K_p = 0,8$).

Передаточная функция этого звена $W_p = K_p = 0,8$.

Второе звено – интегрирующее, коэффициент интегрирования звена равен $K_u = 0,7$, то есть передаточная функция звена $W_u = K_u/s = 0,7/s$.

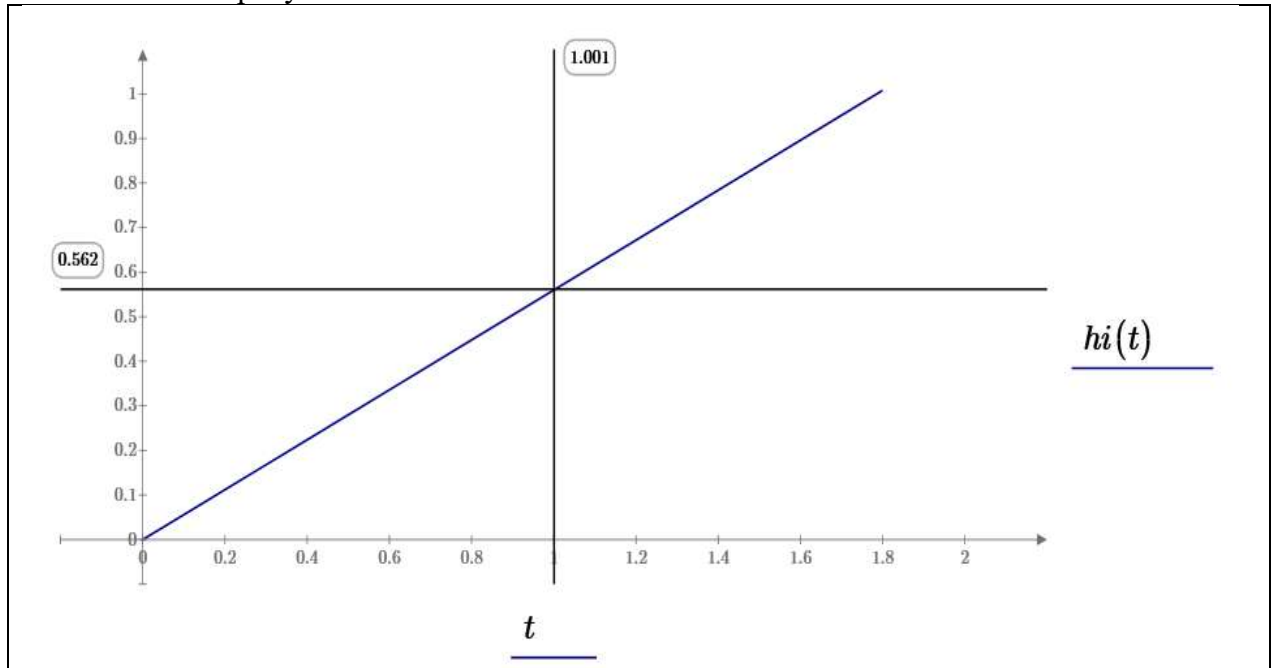
Передаточная функция данного соединения звеньев:

$$W_{\text{посл}}(s) = W_p(s) \cdot W_u(s) = K_p \cdot K_u/s = 0,8 \cdot 0,7/s = 0,56/s.$$

Видно, что получается интегрирующее звено, коэффициент интегрирования которого равен 0,56.

Переходная характеристика интегрирующего звена описывается формулой $h_u(t) = (K_p \cdot K_u) \cdot t$ при $t (t \geq 0)$, то есть $h_u(t) = 0,56 \cdot t$.

Переходная характеристика звена показана на рисунке. При $t = 1$ выходная величина интегрирующего звена равна его коэффициенту интегрирования (в данном случае 0,56). Это показано на рисунке ниже.



Задание экзаменационного билета № 4.7 (10 баллов)

Задание 4.7.1

Основные понятия управления. Управление и регулирование.

Задание 4.7.2

Основные понятия управления. Дискретное и непрерывное управление.

Задание 4.7.3

Основные понятия управления. Объекты управления. Одномерные и многомерные объекты. Тепловые объекты управления, их особенности.

Задание 4.7.4

Системы управления. Замкнутые и разомкнутые системы. Обратная связь.

Задание 4.7.5

Структура одноконтурной АСР.

Задание 4.7.6

Принцип регулирования по отклонению.

Задание 4.7.7

Принцип регулирования по возмущению.

Задание 4.7.8

Комбинированная АСР, сочетающая принципы регулирования по отклонению и возмущению. Достоинства и недостатки такой системы.

Задание 4.7.9

АСУ и АСУТП. Техническая структура АСУТП.

Задание 4.7.10

Ошибка регулирования. Основные причины возникновения ошибки регулирования.

Пример выполнения задания 4.7.2

Управление техническим объектом обычно состоит в выработке команд, реализация которых обеспечивает целенаправленное изменение состояния этого объекта в соответствии с целью управления при соблюдении заранее обусловленных требований и ограничений. Состояние объекта в отношении цели управления определяется текущими значениями некоторого числа контролируемых переменных, которые называются управляемыми величинами. Изменение управляемых величин в соответствии с целью управления осуществляется подачей на объект специально организуемых управляющих воздействий.

Управление техническим объектом подразделяется на ряд видов, в частности, на непрерывное и дискретное.

Управление называется непрерывным, если осуществляемое контроллером изменение управляющего воздействия происходит в непрерывной зависимости от изменения задающего воздействия и управляемой величины (а также, возможно, от производных и интегралов этих изменений).

При дискретном управлении управляющее воздействие принимает какое-либо одно из нескольких возможных значений (в предельном случае – одно из двух возможных значений), либо формируется в некоторые дискретные моменты времени.

Дискретное управление применяется, например, тогда, когда алгоритм управления имеет характер логических условий; в этом случае алгоритм управления обычно называют логическим. Чаще всего логическое управление применяется в пусковых режимах работы объекта управления, когда необходимо в определенной последовательности вводить в действие отдельные двигатели, механизмы, агрегаты и т.д. Обычно на практике при управлении сложными технологическими объектами непрерывное и дискретное управление применяются совместно.

Задание экзаменационного билета № 4.8 (10 баллов)

Задание 4.8.1

Понятие модели. Физические и математические модели. Пример физической модели. Пример динамической модели.

Задание 4.8.2

Понятие математической модели. Пример математической модели линейной динамической системы.

Задание 4.8.3

Анализ линейных динамических систем на примере автоматических систем управления. Показатели качества работы линейных динамических систем управления. Примеры переходных процессов.

Задание 4.8.4

Понятия анализа и синтеза линейных динамических систем управления. Примеры.

Задание 4.8.5

Понятие передаточной функции линейной динамической системы. Пример передаточной функции линейной динамической системы на примере одноконтурной АСР.

Задание 4.8.6

Понятие передаточной функции линейной динамической системы. Получение передаточной функции линейной динамической системы по её дифференциальному уравнению. Пример.

Задание 4.8.7

Передаточная функция линейной динамической системы. Связь передаточной функции и комплексной частотной характеристики. Пример.

Задание 4.8.8

Понятие комплексной частотной характеристики (КЧХ) линейной динамической системы. Запись КЧХ в виде суммы действительной и мнимой частей и в показательной форме, связь между этими формами записи. Пример.

Задание 4.8.9

Понятие амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) линейной динамической системы. Связь АЧХ и КЧХ линейной динамической системы. Пример.

Задание 4.8.10

Понятие фазо-частотной характеристики (ФЧХ) линейной динамической системы. Связь ФЧХ и КЧХ линейной динамической системы. Пример.

Пример выполнения задания 4.8.4

При исследовании линейных динамических систем управления может быть необходимо решить два вида задач: анализа системы и синтеза системы.

Под анализом системы управления обычно понимают исследование поведения уже существующей системы управления, то есть, во-первых, определение, устойчива система или нет по одному из существующих критериев устойчивости (Гурвица, Найквиста и т.д.). Если система устойчива, то далее анализируют поведение системы, то есть, строят необходимые переходные процессы (реакцию системы на ступенчатое изменение задания, реакцию системы на ступенчатое возмущение по каналу регулирования и т.д.) и оценивают их качество, то есть, рассчитывают динамическое и статическое отклонение регулируемой величины от задания, длительность переходного процесса, степень затухания и т.д. При необходимости также рассчитывают интегральные показатели качества.

Анализ линейных динамических систем можно выполнять разными методами, например, с помощью дифференциальных уравнений или с помощью динамических характеристик. Под синтезом линейной динамической системы понимают создание новой системы с заранее заданными свойствами. Различают задачи полного и ограниченного синтеза. Под задачей полного синтеза понимают получение для данного объекта алгоритма

регулирования или управления. Под задачей ограниченного (или параметрического) синтеза понимают расчет параметров настройки принятого (или заданного) алгоритма регулирования. Обычно это один из типовых линейных алгоритмов (П, ПИ, ПИД). Для решения задачи ограниченного параметрического синтеза необходимо каким-либо методом получить математическую модель объекта, далее выбрать необходимый алгоритм регулирования и критерий качества работы системы, а также задаться необходимым запасом устойчивости системы (то есть, принять значение степени затухания, корневого или частотного показателя колебательности).

Задание экзаменационного билета № 4.9 (10 баллов)

Задание 4.9.1

Структурные схемы систем управления. Звенья структурных схем, принципы автономности и детектирования. Понятие элементарного звена, пример элементарного звена.

Задание 4.9.2

Последовательное, параллельное и встречно-параллельное (с обратной связью) соединения звеньев. Нахождение передаточных функций этих соединений звеньев на основании передаточных функций составляющих.

Задание 4.9.3

Апериодическое звено, его дифференциальное уравнение, временные и частотные характеристики. Пример.

Задание 4.9.4

Пропорциональное и интегрирующее звенья, их дифференциальное уравнение, временные и частотные характеристики. Пример.

Задание 4.9.5

Идеальное дифференцирующее звено, его дифференциальное уравнение, временные и частотные характеристики. Пример.

Задание 4.9.6

Реальное дифференцирующее звено, его дифференциальное уравнение, временные и частотные характеристики. Пример.

Задание 4.9.7

Звено запаздывания, его дифференциальное уравнение, временные и частотные характеристики. Пример.

Задание 4.9.8

Пропорциональный и интегрирующий алгоритм регулирования, их характеристики. Пример.

Задание 4.9.9

ПИ-алгоритм регулирования, его характеристики. Пример.

Задание 4.9.10

ПИД-алгоритм регулирования, его характеристики. Пример.

Пример выполнения задания 4.9.3

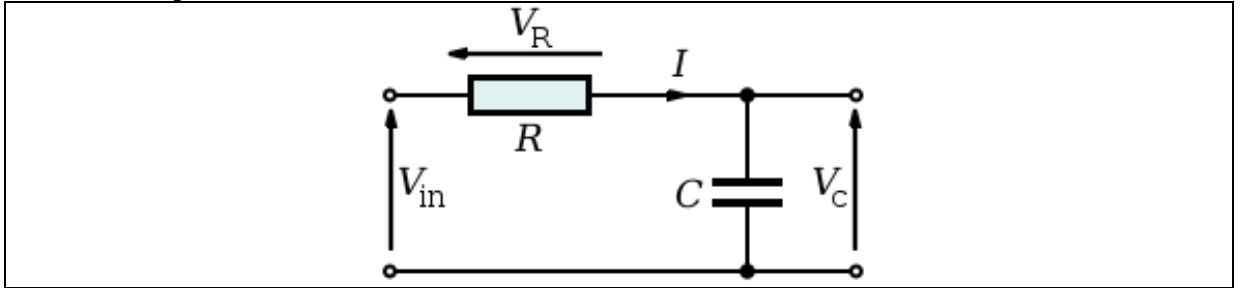
Апериодическое звено – это элементарное звено, которое имеет следующее дифференциальное уравнение:

$$Ty'(t) + y(t) = kx(t), k = \text{const}, T = \text{const}.$$

Где: $y(t)$ – выходная величина данного звена, $x(t)$ – входное воздействие на данное звено, T – постоянная времени апериодического звена, имеет размерность времени, k – коэффициент передачи апериодического звена, размерность его представляет собой отношение размерности выходной величины к размерности входного воздействия.

Примером физической реализации апериодического звена можно считать RC-цепочку, представленную на рисунке. Входным воздействием является напряжение,

приложенное ко всей цепочке, выходной величиной – падение напряжения на конденсаторе.



$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1}$$

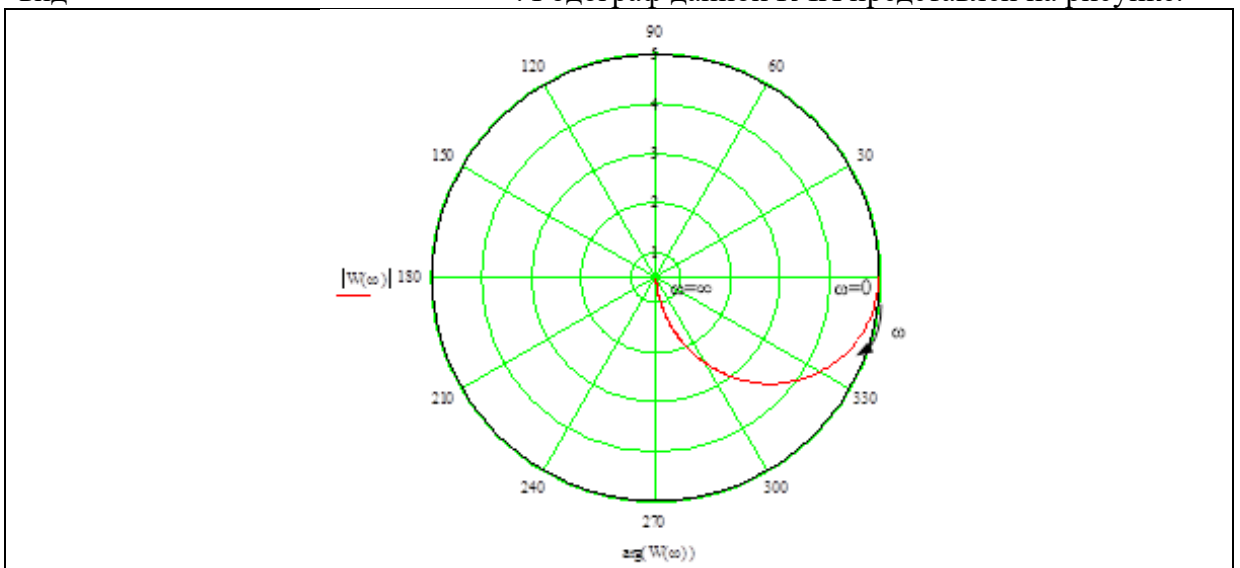
Передаточная функция аperiodического звена имеет вид

Комплексная частотная характеристика аperiodического звена, соответственно, имеет

$$W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1} = \frac{k}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}} e^{-j\arctg T\omega}$$

вид

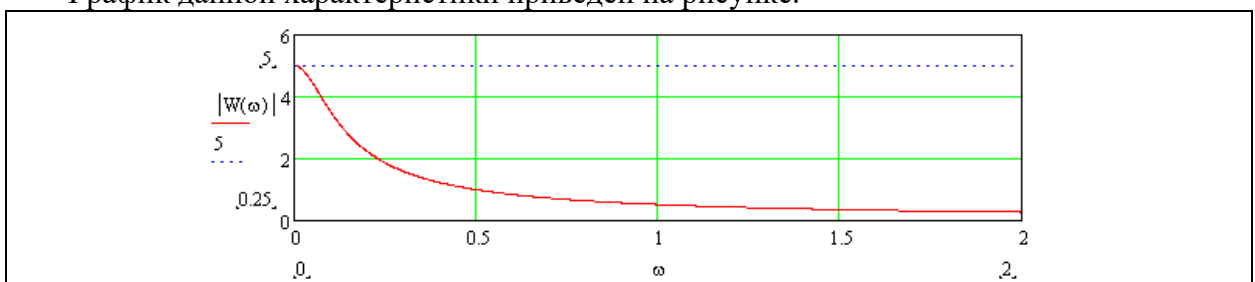
. Годограф данной КЧХ представлен на рисунке.



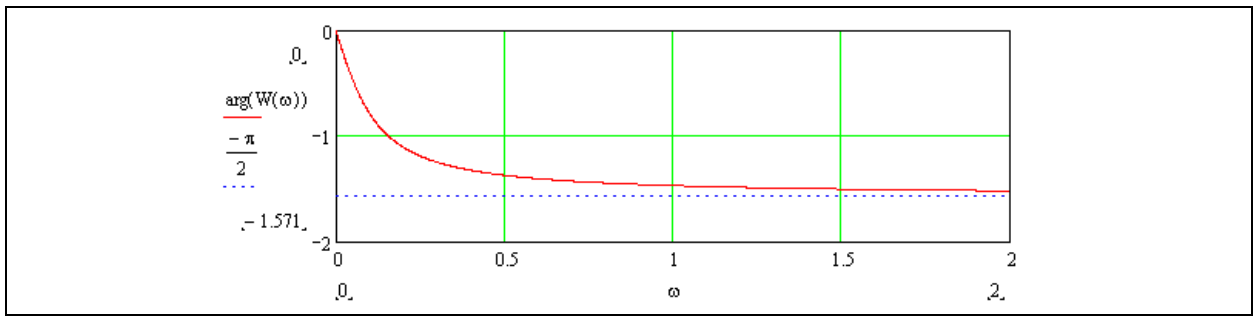
Амплитудно-частотная характеристика аperiodического звена имеет вид:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}}$$

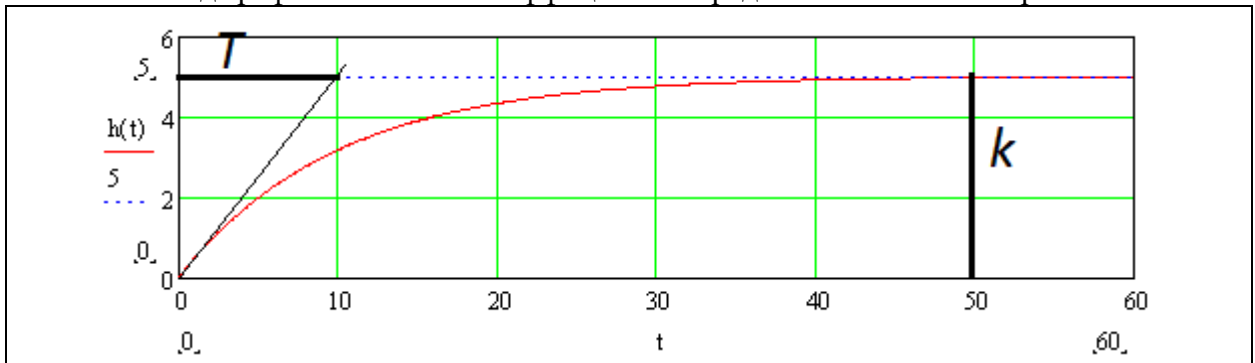
График данной характеристики приведен на рисунке.



Фазо-частотная характеристика аperiodического звена имеет вид: $\varphi(\omega) = -\arctg T\omega$. График данной характеристики представлен на рисунке.

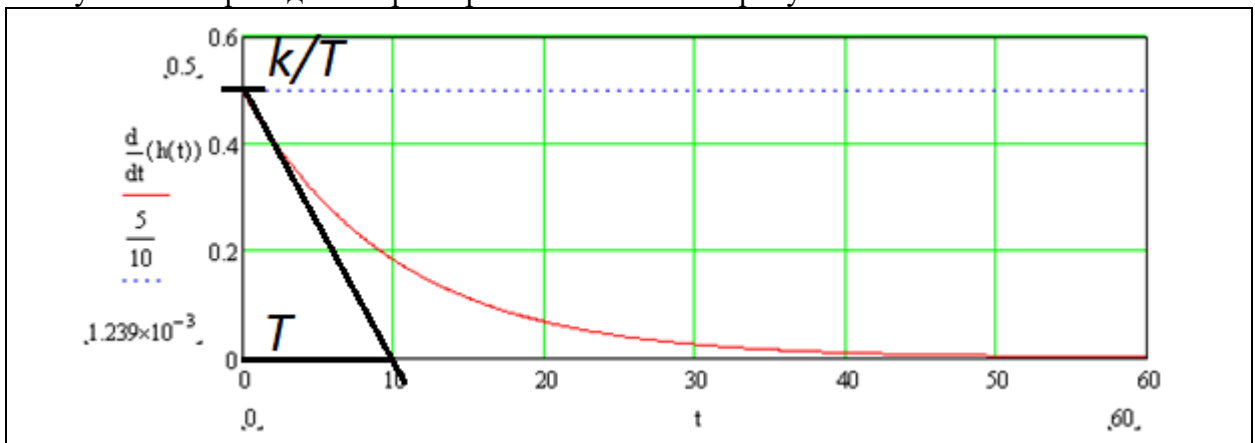


Переходная характеристика аperiodического звена имеет вид: $h(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}) * 1(t)$
 График данной характеристики представлен на рисунке. Также на рисунке показано, как влияют на вид графика значения коэффициента передачи и постоянной времени.



Импульсная переходная характеристика, представляющая собой, согласно определению,

производную от переходной характеристики, имеет вид: $w(t) = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}} * 1(t)$. График импульсной переходной характеристики показан на рисунке.



Директор ИТАЭ

А.В. Дедов

Разработал

Н.А. Губина