



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник УРОПСИ

Фонд оценочных средств  
(приложение к рабочей программе модуля)  
**«ТЕПЛОМАССОБМЕН»**

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата  
по направлению подготовки

**13.03.01 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**  
Профиль программы  
**«ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ»**

ИНСТИТУТ  
РАЗРАБОТЧИК

морских технологий, энергетики и строительства  
кафедра энергетики

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-4.3 Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы	Тепломассообмен	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам;</li> </ul> <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать температурные поля (поля концентрации веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкций тепловых и технологических установок с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты;</li> <li>- рассчитывать передаваемые тепловые потоки;</li> </ul> <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования;</li> <li>- типовыми методиками расчета теплообменных аппаратов теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения</li> </ul>

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- задания по темам практических занятий;
- задания и контрольные вопросы по лабораторным работам;
- тестовые задания по отдельным темам дисциплины.

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме курсовой работы, зачета и экзамена, относятся:

- задание и вопросы к защите курсовой работе;
- промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости;
- вопросы к экзамену по дисциплине.

### **3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

3.1 В приложении № 1 приведены типовые задания по темам практических работ. Все работы выполняются студентами индивидуально по вариантам. Вариант задания определяется преподавателем. Оценивание выполняется по системе «зачтено» - «не зачтено». Критерии оценивания представлены в табл. 2.

3.2 В Приложении № 2 приведены задания и контрольные вопросы по лабораторным работам. По результатам выполнения лабораторной работы составляется отчет. Защита отчетов проводится либо на очередном лабораторном занятии, либо в часы консультаций преподавателя. Оценивание выполняется по системе «зачтено» - «не зачтено». Критерии оценивания представлены в табл. 2.

3.3 Тестовые задания по дисциплине представлены в Приложении № 3. Целью тестирования является закрепление, углубление и систематизация знаний студентов, полученных на занятиях и в процессе самостоятельной работы; проведение тестирования позволяет ускорить контроль за усвоением знаний и объективизировать процедуру оценки знаний студента.

Оценивание осуществляется по следующим критериям, приведенным в таблице 2: «зачтено» – 41-100 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – 0-40 % правильных ответов.

### **4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине в четвертом семестре проводится в форме зачета. Зачет выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Оценка «зачтено» выставляется студентам, получившим положитель-

ную оценку («зачтено») по результатам выполнения и защиты практических и лабораторных работ, тестирования.

В отдельных случаях зачет может приниматься по контрольным вопросам, которые приведены в Приложении № 4. Оценивание результатов сдачи зачета («зачтено» или «не зачтено») осуществляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 2.

4.2 Промежуточная аттестация в форме защиты курсовой работы проводится в пятом семестре. Задание и контрольные вопросы и по курсовой работе приведены в Приложении № 5. По результатам защиты курсовой работы выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»). Критерии оценивания представлены в табл. 2.

4.3 Промежуточная аттестация в форме экзамена проводится в пятом семестре. Типовые экзаменационные вопросы приведены в Приложении № 6. К экзамену допускаются студенты, получившие положительную оценку («зачтено») по результатам выполнения и защиты практических и лабораторных работ, тестирования. Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационный билет содержит три вопроса, относящиеся соответственно к темам:

- теплопроводность и теплопередача;
- конвективный теплообмен и массообмен;
- теплообмен излучением и теплообменные аппараты.

Экзаменационная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной, зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных студентом при ответе на экзаменационные вопросы) и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 2.

Таблица 2 – Система и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерий	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной системой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с</b>	Не в состоянии	Может найти необ-	Может найти,	Может найти, систе-

Система оценок	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>Критерий</b> информацией	находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	ходимую информацию в рамках поставленной задачи	интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	материзировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

## **5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ**

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Тепломассообмен» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль «Тепловые электрические станции»).

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры энергетики (протокол № 4 от 29.03.2022).

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Приложение № 1

**ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМАМ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

*Тема 2.1 Теплопроводность*

Задача 1. Плоскую поверхность с температурой  $t_1$  °С необходимо изолировать, чтобы потеря теплоты не превышала  $q$  Вт/м<sup>2</sup> при температуре внешней поверхности изоляции  $t_2 = 50$  °С. Определить толщину изоляционного слоя  $\delta$  из совелита, коэффициент теплопроводности которого зависит от температуры и равен  $\lambda = 0,09 + 0,000087 \cdot t$  Вт/(м·К). Изменение температуры в слое изоляции показать на графике.

Задача 2. Определить термическое сопротивление  $R$  обмуровки топочной камеры, состоящей из слоев шамотного и красного кирпича, между которыми имеется засыпка из диатомита. Толщина шамотного слоя  $\delta_1$  мм, диатомитовой засыпки  $\delta_2$  мм и красного кирпича  $\delta_3$  мм. Коэффициенты теплопроводности материалов соответственно равны:  $\lambda_1 = 0,93$ ;  $\lambda_2 = 0,13$ ;  $\lambda_3 = 0,7$  Вт/(м·К). Какой толщины следует сделать слой красного кирпича  $\delta_3'$ , если отказаться от применения засыпки из диатомита, чтобы тепловые потери через обмуровку остались неизменными?

Задача 3. Паропровод диаметром  $d_2/d_1 = 170/160$  мм покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя  $\delta_2$  мм и второго  $\delta_3$  мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны:  $\lambda_1 = 50$ ;  $\lambda_2 = 0,15$  и  $\lambda_3 = 0,1$  Вт/(м·К). Температура внутренней поверхности паропровода  $t_1$  °С и внешней поверхности изоляции  $t_4 = 50$  °С. Определить тепловые потери с 1 м длины паропровода и температуры  $t_2$  и  $t_3$  на стыке отдельных слоев. Температурное поле представить графически.

Задача 4. Плоская стальная стенка толщиной  $\delta_2 = 20$  мм с одной стороны покрыта слоем сажи толщиной  $\delta_1 = 1$  мм, а с другой стороны слоем накипи толщиной  $\delta_3 = 3$  мм. Коэффициенты теплопроводности равны: для сажи  $\lambda_1 = 0,08$  Вт/(м·К); для стали  $\lambda_2 = 50$  Вт/(м·К); для накипи  $\lambda_3 = 2,3$  Вт/(м·К). Температура наружной поверхности сажи  $t_1$  °С, а температура наружной поверхности накипи  $t_4$  °С. Определить поверхностную плотность теплового потока через стенку и температуры  $t_2$  и  $t_3$  на поверхностях соприкосновения сажи и накипи с металлом. Определить во сколько раз увеличится поверхностная плотность теплового потока через стенку, если удалить сажу и накипь. Температурное поле в обоих случаях представить графически.

*Тема 2.2 Конвективный теплообмен*

Задача 5. Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  и количество передаваемой теплоты  $Q$  при течении теплоносителя в горизонтальной трубе диаметром  $d$

мм и длиной  $l$  м, если средняя скорость течения  $\bar{W}$  м/с, средняя температура теплоносителя  $\bar{t}_ж$  °С, средняя температура стенки  $\bar{t}_с$  °С.

Задача 6. Определить средний коэффициент теплоотдачи от воздуха для  $n$ -рядного пучка труб диаметром  $d$  мм. Средняя температура воздуха  $\bar{t}_ж$  °С, средняя скорость в самом узком сечении пучка  $\bar{W}$  м/с, угол атаки  $\varphi$ °.

Задача 7. Определить потерю теплоты путем свободной конвекции от трубы диаметром  $d$  мм и длиной  $l$  м к воздуху, если средняя температура поверхности трубы  $\bar{t}_с$  °С, а средняя температура воздуха  $\bar{t}_ж$  °С.

Задача 8. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и потери теплоты при свободной конвекции в плоской воздушной или водяной прослойке (щели) с поперечным размером  $\delta$  мм, расположенной между нагретой и холодной поверхностями с температурами  $\bar{t}_{с1}$  °С и  $\bar{t}_{с2}$  °С.

Задача 9. Вычислить средний коэффициент теплоотдачи при кипении воды и количество пара, получаемое в испарителе за 1 час, если общая поверхность испарения составляет  $F$  м<sup>2</sup>, средняя температура стенки испарителя  $\bar{t}_с$  °С, давление пара  $p$  МПа.

Задача 10. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе (горизонтальной или вертикальной) конденсатора и количество конденсата, образующегося за 1 час, если труба имеет наружный диаметр  $d$  мм, длину (высоту)  $l$  м и среднюю температуру поверхности  $\bar{t}_с$  °С. На поверхности трубы конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p$  МПа.

### *Тема 2.3 Теплообмен излучением*

Задача 11. Обмуровка топочной камеры парового котла выполнена из шамотного кирпича, а внешняя облицовка из листовой стали. Расстояние между обшивкой и кирпичной кладкой мало по сравнению с размерами стенок топки. Вычислить потери теплоты в окружающую среду с единицы поверхности за счет лучистого теплообмена между поверхностями обмуровки и обшивки, если температура внешней поверхности обмуровки  $t_1$  °С, а температура стальной обшивки  $t_2$  °С. Степень черноты шамота  $\varepsilon_1 = 0,8$ , а листовой стали  $\varepsilon_2 = 0,6$ .

Задача 12. Между двумя поверхностями с температурами  $T_1$  К и  $T_2$  К установлен экран. Материалы поверхностей и экрана одинаковы:  $c_1 = c_2 = c_3$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>). Определить лучистый поток между этими поверхностями через экран и температуру экрана. Как изменится лучистый поток, если экран убрать?

Задача 13. Вычислить степень черноты продуктов сгорания при общем давлении в топке  $p = 0,1$  МПа и температуре  $t$  °С, если парциальное давление водяных паров  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  МПа, парциальное давление углекислоты  $p_{\text{CO}_2}$  МПа. Объем топки  $V$  м<sup>3</sup>, общая площадь поверхности ее стен  $F$  м<sup>2</sup>.

*Тема 2.4 Теплопередача и теплообменные аппараты*

Задача 14. В воде-водяном теплообменнике охлаждается пресная вода из системы охлаждения ДВС от  $t_1'$  °С до  $t_1''$  °С. Для охлаждения используется заборная вода с температурой  $t_2'$  °С. Расход пресной воды  $G_1$  кг/с, расход заборной воды  $G_2$  кг/с, коэффициент теплопередачи  $k = 800$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить площадь поверхности теплообмена при прямом токе и противотоке при условии, что теплоемкость пресной воды  $c_{p1} = 4,19$  кДж/(кг·К), заборной воды  $c_{p2} = 3,85$  кДж/(кг·К).

Задача 15. В трубчатом подогревателе судовой адиабатной опреснительной установки подогревается заборная вода от  $t_2'$  °С до  $t_2'' = 90$  °С; расход воды  $G_2$  кг/с, а ее средняя теплоемкость  $c_{p2} = 3,9$  кДж/(кг·К). Подогрев происходит за счет конденсации сухого насыщенного пара с давлением  $p$  МПа. Средний коэффициент теплопередачи  $k = 2800$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить расход конденсирующегося пара и площадь поверхности нагрева подогревателя.

Задача 16. Для подогрева мазута от температуры  $t_2'$  °С до  $t_2'' = 95$  °С используется сухой насыщенный пар с давлением  $p$  МПа. Пар конденсируется на внешней поверхности трубчатого подогревателя. Определить среднелогарифмический температурный напор. Какую погрешность внесем в расчет, если заменим его среднеарифметическим температурным напором?

Варианты индивидуальных заданий представлены в таблицах 1.1-1.3.

Таблица 1.1 – Варианты 1-10 индивидуальных заданий

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$t_1$	200	250	300	350	400	450	200	250	300	350
	$q$	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	$\delta_1$	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	$\delta_2$	40	50	60	70	80	90	100	40	50	60
	$\delta_3$	170	180	190	200	210	220	170	180	190	200
3	$\delta_2$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$\delta_3$	30	35	40	45	50	55	30	35	40	45
	$t_1$	250	260	270	280	290	300	310	250	260	270
4	$t_1$	700	690	680	670	660	650	640	630	620	610
	$t_4$	110	120	130	140	150	160	170	110	120	130

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	$d$	3	4	5	6	8	50	60	70	80	90
	теплоноситель	вода					воздух				
	$l$	0,12	0,16	0,12	0,16	0,20	2	3	4	5	6
	$\overline{W}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	5	20	15	20	25
	$\overline{t}_{ж}$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	$\overline{t}_{с}$	10	10	20	20	30	40	60	60	50	40
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	$n$	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	$d$	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50
	$\overline{t}_{ж}$	200	250	300	350	400	400	350	300	250	200
	$\overline{W}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
	$\varphi$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60
7	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	160	180	200	220	240	40	50	60	70	80
	$l$	4	5	6	8	7	2	3	4	5	6
	$\overline{t}_{с}$	50	60	70	80	90	150	160	170	180	190
	$\overline{t}_{ж}$	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
8	$\delta$	25	20	15	10	30	5	10	15	20	25
	$\overline{t}_{с1}$	150	160	170	180	190	80	85	90	95	100
	$\overline{t}_{с2}$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	теплоноситель	воздух					вода				
9	$F$	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4
	$\overline{t}_{с}$	110	115	125	135	140	150	160	165	170	190
	$p$	0,1	0,12	0,16	0,2	0,26	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
10	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	$l$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	$\overline{t}_{с}$	95	95	95	100	100	100	120	130	140	95
11	$p$	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	0,3
	$t_1$	117	127	137	147	157	117	127	137	147	157
	$t_2$	47	47	47	47	47	50	50	50	50	50
12	$T_1$	800	800	800	800	800	900	900	900	900	900
	$T_2$	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	$c$	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
13	$t \cdot 10^{-2}$	14	15	16	17	18	14	15	16	17	18
	$P_{H_2O} \cdot 10^2$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	$P_{CO_2} \cdot 10^2$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	$V$	10	12	14	16	18	17	15	13	11	9
	$F$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
14	$t_1$	80	82	84	86	78	82	84	86	78	80
	$t_1$	40	38	36	32	42	40	38	36	32	42
	$t_2$	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10
	$G_1$	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$G_2$	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
15	$t_2$	10	12	14	16	18	20	22	22	20	18
	$G_2$	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6
	$p$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
16	$t_2$	25	23	21	19	27	29	21	19	23	25
	$p$	0,4	0,3	0,2	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Таблица 1.2 – Варианты 11-20 индивидуальных заданий

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	$t_1$	400	450	200	250	300	350	400	450	200	250
	$q$	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	$\delta_1$	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	$\delta_2$	70	80	90	100	40	50	60	70	80	90
	$\delta_3$	210	220	170	180	190	200	210	220	170	180
3	$\delta_2$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$\delta_3$	50	55	30	35	40	45	50	55	30	35
	$t_1$	280	290	300	310	250	260	270	280	290	300
4	$t_1$	600	590	700	690	680	670	660	650	640	630
	$t_4$	140	150	160	170	110	120	130	140	150	160
5	$d$	3	4	5	6	8	50	60	70	80	90
	теплоноситель	вода					воздух				
	$l$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	2	3	4	5
	$\overline{W}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	10	15	20	25	30
	$\overline{t}_{ж}$	70	80	90	60	50	120	130	140	150	160
	$\overline{t}_{с}$	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	$n$	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	$d$	20	30	50	70	60	70	60	40	30	20
	$\overline{t}_{ж}$	200	250	300	350	400	450	450	450	450	450
	$\overline{W}$	30	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	$\varphi$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60
7	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	40	50	60	70	80	160	180	200	220	240
	$l$	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6
	$\overline{t}_{с}$	200	210	220	230	240	40	50	60	70	80
	$\overline{t}_{ж}$	20	30	40	20	30	10	20	30	10	20
8	$\delta$	40	50	60	70	80	30	35	40	45	50
	$\overline{t}_{с1}$	200	210	220	230	240	40	50	60	70	80
	$\overline{t}_{с2}$	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20
	теплоноситель	воздух					вода				
9	$F$	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
	$\overline{t}_{с}$	195	200	210	220	230	235	240	250	255	260

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	$p$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,0	3,5
10	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40
	$l$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8
	$\bar{t}_c$	90	85	85	85	80	75	70	65	60	55
	$p$	0,26	0,20	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
11	$t_1$	117	127	137	147	157	112	122	132	142	152
	$t_2$	42	42	42	42	42	52	52	52	52	52
12	$T_1 \cdot 10^{-2}$	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11
	$T_2$	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	$c$	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
13	$t \cdot 10^{-2}$	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
	$P_{H_2O} \cdot 10^2$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	$P_{CO_2} \cdot 10^2$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	$V$	8	10	12	14	16	18	20	16	14	12
	$F$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
14	$t_1$	84	86	78	80	82	86	78	80	82	84
	$t_1$	40	38	36	32	42	40	38	36	32	42
	$t_2$	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12
	$G_1$	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
	$G_2$	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
15	$t_2$	16	14	12	10	8	8	10	12	14	16
	$G_2$	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
	$p$	0,25	0,3	0,35	0,2	0,4	0,25	0,2	0,3	0,35	0,4
16	$t_2$	27	29	19	21	23	25	27	29	19	21
	$p$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,25	0,35	0,45	0,55	0,15

Таблица 1.3 – Варианты 21-30 индивидуальных заданий

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	$t_1$	300	350	400	450	200	250	300	350	400	450
	$q$	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	$\delta_1$	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	$\delta_2$	100	40	50	60	70	80	90	100	40	50
	$\delta_3$	190	200	210	220	170	180	190	200	210	220
3	$\delta_2$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$\delta_3$	40	45	50	55	30	35	40	45	50	55
	$t_1$	310	250	260	270	280	290	300	310	250	260
4	$t_1$	620	610	600	590	700	690	680	670	660	650
	$t_4$	170	110	120	130	140	150	160	170	110	120
5	$d$	4	6	8	10	12	40	50	60	70	80
	теплоноситель	вода					воздух				
	$l$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	$\bar{W}$	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	5	10	15	20	25

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	$\bar{t}_ж$	50	60	70	80	90	180	190	200	210	220
	$\bar{t}_с$	10	10	10	10	10	30	40	50	60	70
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	$n$	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	$d$	60	60	80	80	100	100	80	60	80	60
	$\bar{t}_ж$	200	300	400	500	600	550	450	350	250	150
	$\bar{W}$	5	10	15	20	25	30	20	10	35	40
	$\varphi$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	80
7	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	50	60	80	100	120	20	30	40	50	60
	$l$	2	4	5	6	7	1	2	3	4	5
	$\bar{t}_с$	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	$\bar{t}_ж$	10	30	50	20	30	40	20	30	40	40
8	$\delta$	90	100	110	120	130	10	20	30	40	50
	$\bar{t}_{с1}$	200	250	300	350	400	60	70	80	90	100
	$\bar{t}_{с2}$	80	80	80	80	80	40	40	40	40	40
	теплоноситель	воздух					вода				
9	$F$	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4
	$\bar{t}_с$	270	280	295	300	310	320	330	340	350	350
	$p$	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0
10	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	$l$	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	3,8
	$\bar{t}_с$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
	$p \cdot 10^2$	2,5	2,0	1,8	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
11	$t_1$	112	122	132	142	152	112	122	132	142	152
	$t_2$	50	50	50	50	50	47	47	47	47	47
12	$T_1 \cdot 10^{-2}$	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13
	$T_2$	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	$c$	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,5	4,0
13	$t \cdot 10^{-2}$	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
	$p_{H_2O} \cdot 10^2$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	$p_{CO_2} \cdot 10^2$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	$V$	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	$F$	40	39	38	37	36	35	34	33	32	30
14	$t_1$	78	80	82	84	86	77	79	81	83	85
	$t_1$	40	38	36	32	42	39	41	43	45	47
	$t_2$	11	11	11	11	11	7	8	9	10	11
	$G_1$	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
	$G_2$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
15	$t_2$	10	20	22	20	18	16	14	12	10	8
	$G_2$	2,4	2,2	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	2,8	2,6
	$p$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
16	$t_2$	23	25	27	29	20	22	24	26	28	30
	$p$	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,55	0,45	0,35	0,25	0,15

Приложение № 2

**ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ  
РАБОТАМ**

Лабораторная работа №1. Теплоотдача трубы при свободной конвекции воздуха.

Задание по лабораторной работе: Определить средние значения коэффициентов теплоотдачи для вертикальной трубы при свободном движении воздуха. Построить графическую зависимость  $\alpha=f(\Delta t)$ .

Контрольные вопросы:

1. Какой процесс называется теплоотдачей?
2. Как определяется плотность теплового потока в процессе теплоотдачи?
3. Дайте определения коэффициента теплоотдачи и температурного напора.
4. Что такое свободная конвекция?
5. Какие факторы влияют на теплоотдачу при свободной конвекции?
6. Каков физический смысл чисел Грасгофа, Прандтля, Нуссельта?

Лабораторная работа №2. Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре.

Задание по лабораторной работе: Определить значение среднего коэффициента теплоотдачи для горизонтальной трубы при свободном движении воздуха и установить его зависимость от температурного напора.

Контрольные вопросы:

1. Что такое конвективный теплообмен?
2. Сформулируйте гипотезу Ньютона-Рихмана.
3. От чего зависит коэффициент теплоотдачи?
4. Опишите механизм возникновения свободной конвекции.
5. Какие факторы влияют на теплоотдачу при свободной конвекции?
6. Какой вид имеет уравнение подобия при свободном движении жидкости в большом объеме?

Лабораторная работа №3. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном движении воздуха в прямом кольцевом канале.

Задание по лабораторной работе: Освоить методику экспериментального исследования процесса теплоотдачи и получить уравнение подобия в виде зависимости числа Нуссельта от числа Рейнольдса.

Контрольные вопросы:

1. Какой процесс называется теплоотдачей?

2. Какой вид имеют уравнения подобия для вынужденного движения в кольцевых каналах?
3. Как определяется эквивалентный диаметр для кольцевого канала?
4. Каков физический смысл чисел Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта?
5. Каковы границы применимости уравнений подобия?
6. Какова роль теории подобия в экспериментальном исследовании процесса теплоотдачи?

Лабораторная работа №4. Исследование теплоотдачи при ламинарном движении жидкости в трубе.

Задание по лабораторной работе: Определить значение местного коэффициента теплоотдачи по длине круглой трубы и построить его графическую зависимость от длины трубы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое конвективный теплообмен?
2. Какими силами вызывается вынужденное движение?
3. Какие гидродинамические режимы присущи вынужденному движению?
4. Что такое: определяющий линейный размер, определяющая температура, определяющая скорость?
5. Как изменяется коэффициент теплоотдачи по длине трубы?
6. Какой вид имеют уравнения подобия для вынужденного ламинарного движения в трубах?

Лабораторная работа №5. Исследование теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости.

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально средний коэффициент теплоотдачи от обогреваемой поверхности медного цилиндра в воде.

Контрольные вопросы:

1. При каких условиях возникает процесс кипения?
2. Что такое центры парообразования?
3. В чём различие кипения в объёме жидкости и на обогреваемой поверхности?
4. Какие режимы кипения на обогреваемой поверхности вы знаете?
5. Что такое кризисы кипения? В чём их причины?
6. Какие уравнения используют для определения коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости?

Лабораторная работа №6. Определение коэффициента теплопроводности теплоизоля-

ционных материалов методом трубы.

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально коэффициент теплопроводности исследуемого материала и его зависимость от температуры.

Контрольные вопросы:

1. Какова физическая сущность процесса теплопроводности?
2. Что такое коэффициент теплопроводности? От чего он зависит?
3. Какие материалы можно считать теплоизоляционными?
4. Как определяется градиент температуры?
5. Что такое линейная плотность теплового потока?
6. Каков закон изменения температуры в цилиндрической стенке?

Лабораторная работа №7. Определение коэффициента теплопроводности твёрдого материала методом цилиндрического слоя.

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально значение коэффициента теплопроводности исследуемого материала и установить его зависимость от температуры.

Контрольные вопросы:

1. Каков механизм процесса теплопроводности?
2. Как формулируется закон Фурье для теплопроводности?
3. От чего зависит коэффициент теплопроводности?
4. Как влияет температура на изменение коэффициента теплопроводности для чистых металлов и сплавов?
5. Что называется температурным полем? Какие типы температурных полей бывают?
6. Как определяется линейное термическое сопротивление теплопроводности для цилиндрической стенки?

Лабораторная работа №8. Исследование теплообмена излучением.

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально коэффициент излучения электропроводящего материала при различных температурах калориметрическим методом. Сравнить полученное значение с табличным.

Контрольные вопросы:

1. Какой диапазон длин волн характеризует тепловое излучение?
2. Что такое «абсолютно чёрное» тело и «серое» тело?
3. По какому закону определяется поверхностная плотность потока излучения абсолютно чёрного тела?
4. Что такое интегральная степень черноты серого тела?

5. Что такое коэффициент излучения серого тела? От чего он зависит?

6. Сформулируйте закон Кирхгофа для лучистого теплообмена.

Лабораторная работа №9. Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом плоского слоя.

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально коэффициент теплопроводности для двух образцов материала при различных значениях средней температуры.

Контрольные вопросы:

1. Как обеспечивается плотность контакта образцов с горячей и холодной поверхностями? Как обеспечивается охлаждение холодной поверхности?

2. Как измеряется напряжение в электрической цепи нагревателя? Каким образом измеряются температуры?

3. Как определяются потери теплоты в окружающую среду?

4. Какова зависимость коэффициентов теплопроводности от температуры?

5. Как определяется плотность теплового потока для плоской стенки?

6. Что такое термическое сопротивление теплопроводности и как оно определяется для плоской стенки?

Лабораторная работа №10. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра.

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить коэффициент теплоотдачи на поверхности горизонтально расположенного цилиндра при стационарной естественной конвекции в неограниченном пространстве и сравнить результат опыта с теоретическими данными.

Контрольные вопросы:

1. Чем определяется коэффициент теплоотдачи?

2. Какие силы вызывают свободное движение?

3. Как осуществляется нагрев рабочего участка трубы?

4. Как измеряется термо-ЭДС термопар?

5. Как регулируется напряжение электрообогрева?

6. Как определяются лучистые и конвективные потоки теплоты?

Лабораторная работа №11. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около вертикального цилиндра

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить средние и локальные коэффициенты теплоотдачи вдоль вертикальной поверхности при стационарной естествен-

ной конвекции с последующим сравнением уравнений подобия с теоретическими формулами.

Контрольные вопросы:

1. По какому закону определяется тепловой поток в процессе теплоотдачи?
2. Какие факторы влияют на величину коэффициента теплоотдачи?
3. Как определяются температуры в разных точках по высоте трубы?
4. Как можно определить среднюю температуру стенки трубы?
5. Как определяется лучистая составляющая общего теплового потока?
6. Какой вид имеет уравнение подобия при свободном движении около вертикальной трубы в большом объеме?

Лабораторная работа №12. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении теплоносителя в трубе

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить локальные и средние по длине трубы значения коэффициенты теплоотдачи при вынужденном движении заданного теплоносителя в трубе.

Контрольные вопросы:

1. Какие силы приводят к возникновению свободного и вынужденного движения?
2. Как измеряется скорость движения потока воздуха?
3. Как измеряется температура воздуха?
4. Как определяются потери тепла в окружающую среду?
5. Как изменяется коэффициент теплоотдачи по длине трубы?
6. Каков общий вид уравнения подобия для вынужденного движения жидкости в трубе?

Лабораторная работа №13. Определение коэффициента излучения электропроводящих материалов калориметрическим методом.

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить коэффициент излучения электропроводящего материала при различных температурах калориметрическим методом.

Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой электропроводящий материал?
2. Каково устройство калориметра?
3. Чем обеспечивается изменение температуры проволоки?
4. Какие виды теплообмена участвуют в отводе теплоты от проволоки?
5. Как определяется электрическая мощность нагрева рабочего участка проволоки?

6. Какой закон используется для определения коэффициента излучения и степени черноты проволоки? Как они зависят от температуры?

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Вариант 1

ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах.

Индикатор достижения компетенции ОПК-4.3: Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы.

*Вопрос 1. Конвективный теплообмен между потоком теплоносителя и поверхностью твердой стенки называется*

1. теплопроводность	3. массообмен
2. конвекция	4. теплоотдача

*Вопрос 2. Физический параметр вещества, характеризующий его способность проводить теплоту, называется*

1. коэффициент теплопередачи	3. коэффициент теплоотдачи
2. коэффициент теплопроводности	4. коэффициент температуропроводности

*Вопрос 3. Гипотеза Ньютона-Рихмана имеет вид*

1. $dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF$	3. $dQ = \delta \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot dF$
2. $dQ = \alpha \cdot (t_c - t_{ж}) \cdot dF$	4. $dQ = k \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) \cdot dF$

*Вопрос 4. Теплообмен при совместном действии теплопроводности и излучения называют*

1. радиационно-конвективным	3. конвективным теплообменом
2. радиационно-кондуктивным	4. конвективным массообменом

*Вопрос 5. Коэффициент теплопроводности с ростом температуры увеличивается у*

1. стекла	3. чугуна
2. стали углеродистой	4. масла трансформаторного

*Вопрос 6. Единица измерения коэффициента температуропроводности*

1. Вт/(м·К)	3. 1/К
2. Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	4. м/с <sup>2</sup>

*Вопрос 7. Число подобия, представляющее собой безразмерный коэффициент теплоотдачи, называется*

1. число Грасгофа	3. число Прандтля
2. число Нуссельта	4. число Рейнольдса

*Вопрос 8. На интенсивность процесса теплоотдачи НЕ влияют*

1. физические свойства твердой поверхности	3. физические свойства теплоносителя
2. режим движения теплоносителя	4. форма твердой поверхности

*Вопрос 9. Уравнение подобия для определения коэффициента теплоотдачи третьего и последующих рядов труб в поперечно обтекаемых пучках в общем случае имеет вид*

1. $Nu_{ж} = c \cdot (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^a \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^b$	3. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot Pr_{ж}^b \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^d \cdot \epsilon_s$
2. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot \epsilon_l$	4. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot Pr_{ж}^b \cdot Gr_{ж}^d \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^f \cdot \epsilon_l$

*Вопрос 10. Определяющим размером при вынужденном движении в трубах является*

1. внутренний диаметр трубы	3. длина трубы
2. толщина стенки трубы	4. внешний диаметр трубы

*Вопрос 11. Развитое турбулентное течение при вынужденном движении в трубах возникает при значении числа Рейнольдса*

1. 1000	3. 2300
2. более 10 000	4. менее 2000

*Вопрос 12. Режим кипения жидкости, при котором возможна надежная работа теплообменных аппаратов, исключая перегрев их поверхностей, называется*

1. пленочным	3. капельным
2. пузырьковым	4. объемным

*Вопрос 13. Температурным напором теплопроводности называют разность*

1. температуры стенки и температуры насыщения	3. температур горячей и холодной жидкости
2. температуры стенки и температуры жидкости	4. температур горячей и холодной поверхностей стенки

*Вопрос 14. Формула для определения полного термического сопротивления теплопередачи, имеет вид*

1. $R_{\ell} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}$	3. $R = \delta/\lambda$
2. $R = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$	4. $R_{\ell} = \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda}$

*Вопрос 15. Тепловым излучением или радиацией называется распространение*

1. видимых и инфракрасных лучей	3. ультрафиолетовых и инфракрасных лучей
2. космических лучей	4. солнечных лучей

*Вопрос 16. Сумма собственного и отраженного излучения называется*

1. эффективным	3. интегральным
2. результирующим	4. падающим

*Вопрос 17. Теплота от нагретого теплоносителя к холодному передается через разделяющую их твердую стенку в теплообменных аппаратах, называемых*

1. смесительными	3. с внутренним источником энергии
2. рекуперативными	4. регенеративными

*Вопрос 18. Схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате, соответствующая наиболее эффективному теплопереносу, называется*

1. прямоток	3. противоток
2. перекрестный ток	4. смешанный ток

*Вопрос 19. Плотность потока массы – это поток массы, проходящий через единицу*

1. объема	3. толщины
2. длины	4. поверхности

*Вопрос 20. Конвективный массообмен между жидкой или твердой поверхностью и окружающей средой называется*

1. молекулярная диффузия	3. массоотдача
2. поток массы	4. массоперенос

*Вопрос 21. Плотность потока массы одного из компонентов за счет концентрационной диффузии определяется законом*

1. Фурье	3. Ламберта
2. Вина	4. Фика

*Вопрос 22. Процесс теплообмена между горячим и холодным теплоносителями через разделяющую их твердую стенку, называется ...*

*Вопрос 23. Закон, на основании которого определяется тепловой поток в процессе теплопроводности, называется закон ...*

*Вопрос 24. Расчет теплообменного аппарата сводится к совместному решению уравнений ... и ...*

*Вопрос 25. Единицы измерения градиента температуры*

*Вопрос 26. Количество теплоты, проходящее в единицу времени через площадь изотермической поверхности и измеряемое в Вт, называется ...*

*Вопрос 27. Режим движения теплоносителя, при котором его частицы движутся без перемешивания, слоисто, называется ...*

*Вопрос 28. Разность температуры стенки и температуры теплоносителя, называется температурным напором ...*

*Вопрос 29. Схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате, при которой они по обе стороны стенки движутся параллельно в одном и том же направлении, называется ...*

*Вопрос 30. Тела, у которых пропускательная способность равна единице, то есть вся падающая энергия проходит сквозь тело, называются ...*

### Вариант 2

ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах.

Индикатор достижения компетенции ОПК-4.3: Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы.

*Вопрос 1. Молекулярный перенос теплоты в телах (или между ними), обусловленный наличием градиента температуры, называется*

1. конвекция	3. теплопроводность
2. теплопередача	4. массоотдача

*Вопрос 2. Совокупность значений температуры во всех точках среды в каждый момент времени называется*

1. градиент температуры	3. изотермическая поверхность
2. температурное поле	4. плотность теплового потока

*Вопрос 3. Закон Фурье для теплопроводности имеет вид*

1. $dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF$	3. $dQ = \delta \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot dF$
2. $dQ = \alpha \cdot (t_c - t_{ж}) \cdot dF$	4. $dQ = k \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) \cdot dF$

*Вопрос 4. Теплообмен при совместном действии теплопроводности, конвекции и излучения называют*

1. радиационно-конвективным	3. конвективным теплообменом
2. радиационно-кондуктивным	4. конвективным массообменом

*Вопрос 5. Коэффициент теплопроводности с ростом температуры уменьшается у*

1. воздуха	3. кирпича красного
2. меди	4. ваты минеральной

*Вопрос 6. Единица измерения коэффициента теплоотдачи*

1. Вт/(м·К)	3. 1/К
2. Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	4. м/с <sup>2</sup>

*Вопрос 7. Число подобия, определяющее гидродинамический режим вынужденного движения теплоносителя, называется*

1. число Грасгофа	3. число Прандтля
2. число Нуссельта	4. число Рейнольдса

*Вопрос 8. Тонкий слой заторможенной жидкости, образующийся у поверхности твердой стенки при ее обтекании, называется*

1. кинематический слой	3. стабилизированный слой
2. пограничный слой	4. поверхностный слой

*Вопрос 9. Уравнение подобия М. А. Михеева для вынужденного ламинарного движения в прямых длинных трубах в общем случае имеет вид*

1. $Nu_{ж} = c \cdot (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^a \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^b$	3. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot Pr_{ж}^b \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^d \cdot \epsilon_s$
2. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot \epsilon_l$	4. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot Pr_{ж}^b \cdot Gr_{ж}^d \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^f \cdot \epsilon_l$

*Вопрос 10. Определяющим размером при свободном движении у горизонтальной трубы является*

1. внутренний диаметр трубы	3. длина трубы
2. толщина стенки трубы	4. внешний диаметр трубы

*Вопрос 11. Теплоотдача при поперечном обтекании пучков труб стабилизируется, начиная с \_\_\_\_\_ ряда.*

1. второго	3. четвертого
2. третьего	4. шестого

*Вопрос 12. Наиболее эффективным режимом конденсации является*

1. пленочный	3. капельный
2. пузырьковый	4. объемный

*Вопрос 13. Температурным напором для теплообмена при кипении жидкости на обогреваемой твердой поверхности называют разность*

1. температуры стенки и температуры насыщения	3. температур горячей и холодной жидкости
2. температуры стенки и температуры жидкости	4. температур горячей и холодной поверхностей стенки

*Вопрос 14. Формула для определения полного линейного термического сопротивления теплопередачи, имеет вид*

1. $R_{\ell} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}$	3. $R = \delta/\lambda$
2. $R = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$	4. $R_{\ell} = \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda}$

*Вопрос 15. Тела, у которых отражательная способность равна единице, то есть вся падающая энергия отражается от тела, называются*

1. абсолютно прозрачные	3. абсолютно белые
2. абсолютно черные	4. серые

*Вопрос 16. Утверждение, которое **НЕ** относится к особенностям поглощения и излучения энергии газами, имеет вид*

1. излучение и поглощение энергии газами происходит во всем их объеме	3. трех- и многоатомные газы излучают и поглощают энергию всех длин волн
---	--

2. излучение газа зависит от его парциального давления	4. одно- и двух атомные газы практически прозрачны для тепловых лучей
--	---

*Вопрос 17. Одна и та же поверхность поочередно омывается горячим и холодным теплоносителями в теплообменных аппаратах, называемых*

1. смесительными	3. с внутренним источником энергии
2. рекуперативными	4. регенеративными

*Вопрос 18. Температура одного из теплоносителей может оставаться постоянной в*

1. конденсаторе паровой турбины	3. пароперегревателе парового котла
2. маслоохладителе системы маслоснабжения паровой турбины	4. воздухоподогревателе парового котла

*Вопрос 19. При массообмене мера подобия полей концентраций и температуры характеризуется числом*

1. Прандтля	3. Релея
2. Льюиса	4. Фурье

*Вопрос 20. Совместный молекулярный и конвективный перенос массы называется*

1. молекулярная диффузия	3. массоотдача
2. конвективный массообмен	4. массоперенос

*Вопрос 21. Если движущей силой переноса вещества является градиент давлений, то происходит*

1. концентрационная диффузия	3. термодиффузия
2. конвективная диффузия	4. бародиффузия

*Вопрос 22. Процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн, называется ...*

*Вопрос 23. Закон, который устанавливает зависимость спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела от длины волны и абсолютной температуры, называется закон ...*

*Вопрос 24. Расчет теплообменного аппарата, целью которого является определение величины теплового потока и конечных температур теплоносителей, если известна площадь поверхности нагрева этого теплообменника, называется ...*

*Вопрос 25. Единица измерения теплового потока*

*Вопрос 26. Физический параметр вещества, характеризующий скорость изменения температуры при нагреве и охлаждении тел, называется ...*

*Вопрос 27. Режим неизотермического вынужденного движения теплоносителя при ламинарном течении, который характеризуется отсутствием естественной конвекции, называется ...*

*Вопрос 28. Разность температур горячего и холодного теплоносителей, называется температурным напором ...*

*Вопрос 29. Схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате, при которой они по обе стороны стенки движутся параллельно в противоположных направлениях, называется ...*

*Вопрос 30. Разность собственного и поглощенного излучения, называется ...*

### Вариант 3

ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах.

Индикатор достижения компетенции ОПК-4.3: Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы.

*Вопрос 1. Перенос теплоты в результате перемещения макроскопических масс жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой температурой называется*

1. теплоотдача	3. теплопередача
2. теплопроводность	4. конвекция

*Вопрос 2. Температурное поле, которое **НЕ** изменяется во времени, называется*

1. однородное	3. изотермическое
2. стационарное	4. нестационарное

*Вопрос 3. Уравнение теплопередачи имеет вид*

1. $dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF$	3. $dQ = \delta \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot dF$
2. $dQ = \alpha \cdot (t_c - t_{ж}) \cdot dF$	4. $dQ = k \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) \cdot dF$

*Вопрос 4. Теплообмен при совместном действии теплопроводности и конвекции называют*

1. радиационно-конвективным	3. конвективным теплообменом
2. радиационно-кондуктивным	4. конвективным массообменом

*Вопрос 5. Хуже всего проводит тепло*

1. воздух	3. шамотный кирпич
2. сталь	4. вода

*Вопрос 6. Единица измерения коэффициента теплопроводности*

1. Вт/(м·К)	3. 1/К
2. Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	4. м/с <sup>2</sup>

*Вопрос 7. Число подобия, которое определяет гидродинамический режим свободного*

<i>движения, называется</i>	
1. число Грасгофа	3. число Прандтля
2. число Нуссельта	4. число Рейнольдса

<i>Вопрос 8. Режим вынужденного движения в трубах, при котором учитывается влияние естественной конвекции, называется</i>	
1. ламинарный вязкостный	3. турбулентный вязкостный
2. ламинарный вязкостно-гравитационный	4. турбулентный вязкостно-гравитационный

<i>Вопрос 9. Уравнение подобия для теплообмена при свободном движении в большом в общем случае имеет вид</i>	
1. $Nu_{ж} = c \cdot (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^a \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^b$	3. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot Pr_{ж}^b \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^d \cdot \varepsilon_s$
2. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot \varepsilon_\ell$	4. $Nu_{ж} = c \cdot Re_{ж}^a \cdot Pr_{ж}^b \cdot Gr_{ж}^d \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^f \cdot \varepsilon_\ell$

<i>Вопрос 10. Определяющим размером при поперечном обтекании одиночной трубы является</i>	
1. внутренний диаметр трубы	3. длина трубы
2. толщина стенки трубы	4. внешний диаметр трубы

<i>Вопрос 11. При вынужденном обтекании пучка труб (при прочих равных условиях) коэффициент теплоотдачи будет наибольшим</i>	
1. при поперечном обтекании, угол атаки 90 градусов	3. при поперечном обтекании, угол атаки 45 градусов
2. при поперечном обтекании, угол атаки 60 градусов	4. при продольном обтекании

<i>Вопрос 12. К режимам кипения жидкости в большом объеме НЕ относится</i>	
1. пленочный	3. переходный
2. пузырьковый	4. капельный

<i>Вопрос 13. Температурным напором теплоотдачи называют разность</i>	
1. температуры стенки и температуры насыщения	3. температур горячей и холодной жидкости
2. температуры стенки и температуры жидкости	4. температур горячей и холодной поверхностей стенки

<i>Вопрос 14. Формула для определения термического сопротивления теплопроводности плоской стенки, имеет вид</i>	
1. $R_\ell = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}$	3. $R = \delta/\lambda$
2. $R = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$	4. $R_\ell = \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda}$

<i>Вопрос 15. Тела, у которых поглощательная способность равна единице, то есть вся падающая энергия поглощается телом, называются</i>	
1. абсолютно прозрачные	3. абсолютно белые
2. абсолютно черные	4. серые

*Вопрос 16. Закон теплового излучения, который позволяет определить величину поверхностной плотности потока интегрального излучения аналитически в зависимости только от абсолютной температуры в четвертой степени, называется*

1. закон Планка	3. закон Стефана-Больцмана
2. закон Ламберта	4. закон Кирхгофа

*Вопрос 17. Теплообмен осуществляется при непосредственном контакте теплоносителей в теплообменных аппаратах, называемых*

1. смесительными	3. с внутренним источником энергии
2. рекуперативными	4. регенеративными

*Вопрос 18. В теплообменном аппарате большее изменение температуры по поверхности теплообмена получается для того теплоносителя, у которого*

1. начальная температура больше	3. водяной эквивалент больше
2. начальная температура меньше	4. водяной эквивалент меньше

*Вопрос 19. При массоотдаче плотность потока массы диффундирующего вещества можно выразить через разность*

1. концентраций	3. парциальных давлений
2. температур	4. удельных объемов

*Вопрос 20. Самопроизвольный процесс, стремящийся к установлению внутри фаз равновесного распределения концентраций, называется*

1. диффузия	3. массоотдача
2. конвекция	4. массоперенос

*Вопрос 21. Если движущей силой переноса вещества является разность температур, то происходит*

1. концентрационная диффузия	3. термодиффузия
2. конвективная диффузия	4. бародиффузия

*Вопрос 22. Три основных элементарных способа распространения теплоты – это ...*

*Вопрос 23. Закон, на основании которого определяется тепловой поток в процессе теплоотдачи, называется гипотеза ...*

*Вопрос 24. Расчет теплообменного аппарата, при котором определяется площадь поверхности теплообмена и осуществляется его компоновка, называется ...*

*Вопрос 25. Единица измерения плотности теплового потока ...*

*Вопрос 26. Физический параметр вещества, характеризующий его способность проводить теплоту, называется ...*

*Вопрос 27. Режим движения теплоносителя, при котором его частицы движутся хао-*

*точно и непрерывно меняются величина и направление скорости отдельных частиц, называется ...*

*Вопрос 28. Разность температур горячей и холодной поверхностей стенки, называется температурным напором ...*

*Вопрос 29. Схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате, при которой они движутся во взаимно перпендикулярных направлениях, называется ...*

*Вопрос 30. Излучение, которое определяется физическими свойствами и температурой данного тела (когда на него не падает никаких лучей извне), называется ...*

Приложение № 4

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, КОТОРЫЕ ПРИ  
НЕОБХОДИМОСТИ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В ФОРМЕ ЗАЧЕТА**

1. Тепломассообмен. Общая классификация процессов. Механизмы переноса теплоты. Сложные процессы теплообмена.
2. Понятие о температурном поле. Градиент температуры. Тепловой поток. Плотность теплового потока.
3. Теплопроводность. Закон Фурье.
4. Коэффициент теплопроводности. Особенности теплопроводности различных веществ.
5. Полное математическое описание процесса теплопроводности. Условия однозначности.
6. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнение энергии. Уравнения Фурье, Пуассона, Лапласа.
7. Теплопроводность плоской стенки при граничных условиях первого и третьего рода.
8. Теплопроводность многослойная плоской стенки при стационарном режиме.
9. Теплопроводность цилиндрической стенки при стационарном режиме при граничных условиях первого и третьего рода.
10. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенка при стационарном режиме.
11. Критический диаметр цилиндрической стенки. Условия выбора тепловой изоляции.
12. Нестационарная теплопроводность. Аналитическое описание процесса. Общие методы определения теплового потока и температурного поля.
13. Числа Био и Фурье.
14. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины, цилиндра бесконечной длины, шара.
15. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Теорема о перемножении решений. Регулярный режим. Темп охлаждения.

## ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

### 1. Задание на проектирование водо-водяного теплообменного аппарата типа «труба в трубе»

Выполнить тепловой расчет водо-водяного теплообменника типа «труба в трубе». Определить площадь поверхности нагрева  $F$ ,  $m^2$  и число секций  $z$ .

Греющая вода в теплообменном аппарате движется по внутренней стальной трубе с внешним диаметром  $d_n$  и внутренним диаметром  $d_{вн}$ . Температура греющей воды на входе  $t'_1$ . Ее расход –  $G_1$ , кг/ч. Нагреваемая вода движется противотоком (прямотоком) по кольцевому каналу между внутренней и внешней трубами и нагревается от  $t'_2$  до  $t''_2$ . Внутренний диаметр внешней трубы  $D$ , мм, расход нагреваемой воды  $G_2$ , кг/ч. Длина одной секции теплообменного аппарата  $\ell$ , м. Поверхность теплообменника покрыта качественной тепловой изоляцией, поэтому потерями в окружающую среду можно пренебречь.

Также определить, как изменится эффективность работы теплообменного аппарата (величина коэффициента теплопередачи  $k$ ) и его размеры, если вместо гладкой внутренней трубы использовать накатанную.

Используя результаты расчета, построить графические зависимости изменения температур холодного и горячего теплоносителей по поверхности теплообмена.

Выполнить сборочный чертеж водо-водяного теплообменника типа «труба в трубе» (формат А3 или А2) и спецификацию к нему, а также чертеж общего вида (формат А4 или А3).

Исходные данные на проектирование теплообменника типа «труба в трубе» с прямоточной схемой движения теплоносителей приведены в таблице 5.1, с противоточной – в таблице 5.2.





## 2. Задание на проектирование секционного кожухотрубного маслоохладителя

Выполнить тепловой расчет секционного кожухотрубного маслоохладителя. Определить площадь поверхности теплообмена  $F$ ,  $\text{м}^2$  и число секций  $z$ .

Охлаждающая вода в теплообменном аппарате движется внутри стальных труб с внешним диаметром  $d_{\text{н}}$  и внутренним диаметром  $d_{\text{вн}}$ . Температура охлаждающей воды на входе  $t'_2$ . Ее расход –  $V_2$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Охлаждаемое масло типа Т-22 движется противотоком (прямотоком) в межтрубном пространстве и охлаждается от  $t'_1$  до  $t''_1$ . Внутренний диаметр внешней трубы (кожуха)  $D$ , мм, расход масла  $V_2$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Длина труб одной секции теплообменного аппарата  $\ell$ , м. Поверхность теплообменника покрыта качественной тепловой изоляцией, поэтому потерями в окружающую среду можно пренебречь.

Используя результаты расчета, построить графические зависимости изменения температур холодного и горячего теплоносителей по поверхности теплообмена.

Выполнить сборочный чертеж секционного кожухотрубного маслоохладителя (формат А3 или А2) и спецификацию к нему, а также чертеж общего вида теплообменника (формат А4 или А3).

Исходные данные на проектирование секционного кожухотрубного маслоохладителя с прямоточной схемой движения теплоносителей приведены в таблице 5.3, с противоточной – в таблице 5.4.

Таблица 5.3 – Исходные данные на проектирование секционного кожухотрубного маслоохладителя с прямоточной схемой движения теплоносителей

Параметр, обозначение, единицы измерения	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина трубной секции $\ell$ , м	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
Диаметр трубок $d_{\text{н}}/d_{\text{вн}}$ , мм/мм	25/21	20/16	25/21	20/16	25/21	20/17	25/22	20/17	25/22	20/17
Толщина стенки внутренней трубы $\delta$ , м	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Внутренний диаметр кожуха $D$ , мм	157	82	157	82	157	82	157	82	157	82

Число трубок в одной секции $n$ , шт.	19	7	19	7	19	7	19	7	19	7
Расход охлаждаемого масла $V_1$ , м <sup>3</sup> /ч	5	2	5	3	4	2	5	4	5	3
Температура масла на входе $t'_1$ , °С	50	54	54	55	50	50	55	50	52	55
Температура масла на выходе $t''_1$ , °С	36	42	44	45	38	40	45	40	42	45
Расход охлаждающей воды $V_2$ , м <sup>3</sup> /ч	8	4	8	5	6	4	8	7	8	4,6
Температура охлаждающей воды на входе $t'_2$ , °С	22	20	32	24	25	28	34	20	30	24

Таблица 5.4 – Исходные данные на проектирование секционного кожухотрубного маслоохлаждителя с противоточной схемой движения теплоносителей

Параметр, обозначение, единицы измерения	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина трубной секции $\ell$ , м	1,9	2	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2	1,9
Диаметр внутренней трубы $d_n/d_{вн}$ , мм/мм	25/21	20/16	25/21	20/16	25/21	20/17	25/22	20/17	25/22	20/17
Толщина стенки внутренней трубы $\delta$ , м	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Внутренний диаметр кожуха $D$ , мм	157	82	157	82	157	82	157	82	157	82
Число трубок в одной секции $n$ , шт.	19	7	19	7	19	7	19	7	19	7
Расход охлаждаемого масла $V_1$ , м <sup>3</sup> /ч	6	4	6	3	7	3	5	4	8	4
Температура масла на входе $t'_1$ , °С	52	55	50	54	50	48	52	56	50	55
Температура масла на выходе $t''_1$ , °С	42	45	40	44	40	38	42	46	40	45

Расход охлаждающей воды $V_2$ , м <sup>3</sup> /ч	10	7	11	5	12	5,5	9	7	14	6
Температура охлаждающей воды на входе $t'_2$ , °С	32	22	26	28	26	18	30	24	26	25

### Контрольные вопросы для защиты курсовой работы

1. Что такое процесс теплопередачи?
2. Как рассчитывается коэффициент теплопередача и термическое сопротивление теплопередачи через плоскую стенку?
3. Как рассчитывается коэффициент теплопередача и термическое сопротивление теплопередачи через цилиндрическую стенку?
4. Как рассчитывается теплоотдача при движении теплоносителя в трубе?
5. Как рассчитывается теплоотдача при движении теплоносителя в кольцевом канале?
6. Какие числа подобия используются в курсовой работе? Что они характеризуют?
7. Какие уравнения используют при расчетах теплообменных аппаратов?
8. Чем отличается поверочный расчет теплообменного аппарата от конструктивного?
9. Как классифицируют теплообменные аппараты?
10. Какими способами производят интенсификацию теплопередачи в теплообменных аппаратах?
11. Какие схемы движения теплоносителей существуют в теплообменных аппаратах?
12. В чем заключаются преимущества схемы движения теплоносителей «противоток» по сравнению со схемой «прямоток»?
13. При каких условиях схема движения теплоносителей «противоток» не имеет преимуществ перед схемой «прямоток»?
14. Как рассчитывается средний температурный напор теплопередачи?
15. Что такое «условный эквивалент» теплоносителя?
16. Как определяются тепловые и гидромеханические потери в теплообменных аппаратах?
17. Что такое КПД теплообменного аппарата?

Приложение № 6

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (ЭКЗАМЕН) ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Тепломассообмен. Общая классификация процессов. Механизмы переноса теплоты. Сложные процессы теплообмена. Понятие о температурном поле. Градиент температуры. Тепловой поток. Плотность теплового потока.
2. Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Полное математическое описание процесса. Условия однозначности.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнение энергии. Уравнения Фурье, Пуассона, Лапласа.
4. Теплопроводность плоской стенки при стационарном режиме при граничных условиях первого и третьего рода. Теплопередача. Многослойная стенка.
5. Теплопроводность цилиндрической стенки при стационарном режиме при граничных условиях первого и третьего рода. Теплопередача. Многослойная стенка.
6. Критический диаметр цилиндрической стенки. Условия выбора тепловой изоляции.
7. Нестационарная теплопроводность. Аналитическое описание процесса. Общие методы определения теплового потока и температурного поля. Числа Био и Фурье.
8. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины, цилиндра бесконечной длины, шара.
9. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Теорема о перемножении решений. Регулярный режим. Темп охлаждения.
10. Конвективный теплообмен. Основные понятия и определения. Теплоотдача. Комплекс факторов, влияющих на интенсивность процесса. Закон Ньютона-Рихмана. Гидродинамический пограничный слой. Тепловой пограничный слой. Дифференциальное уравнение теплообмена.
11. Полное математическое описание процесса теплоотдачи. Дифференциальные уравнения энергии, движения, сплошности. Условия однозначности.
12. Основы теории подобия. Моделирование процессов конвективного теплообмена. Метод масштабных преобразований. Числа подобия и их физический смысл. Теоремы подобия. Уравнение подобия.
13. Теплоотдача при вынужденном обтекании плоской поверхности. Понятие о тепловом пограничном слое.

14. Теплоотдача при вынужденном движении в трубах. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы при ламинарном течении. Турбулентное течение. Течение в длинных, изогнутых и шероховатых трубах.

15. Теплоотдача при поперечном вынужденном обтекании труб. Омывание коридорных и шахматных пучков труб. Теплоотдача при продольном омывании труб.

16. Теплоотдача при свободном движении в большом объёме.

17. Теплоотдача при свободном движении в ограниченном пространстве.

18. Теплообмен при конденсации чистого пара. Капельная и плёночная конденсация на пучках горизонтальных труб.

19. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Кризисы кипения.

20. Основы теории массообмена. Концентрационная диффузия. Поток массы вещества. Плотность потока массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии.

21. Массоотдача. Дифференциальное уравнение массоотдачи. Полное математическое описание процесса конвективного массообмена. Диффузионные числа подобия. Тройная аналогия.

22. Теплообмен излучением. Виды лучистых потоков. Основные законы лучистого теплообмена: Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.

23. Теплообмен излучением между твёрдыми телами в прозрачной среде. Экранирование.

24. Особенности излучения и поглощения энергии газами и парами. Лучистый теплообмен между газовой средой и оболочкой.

25. Классификация теплообменных аппаратов. Конструкторский и поверочный расчёты. Основные расчётные уравнения: теплопередачи и теплового баланса. Средний температурный напор. Средний коэффициент теплопередачи. Схемы движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока.

26. КПД теплообменного аппарата. Гидравлические потери в теплообменных аппаратах. Расчёт мощности, необходимой для перемещения теплоносителей.

27. Методы интенсификации теплопередачи: увеличение наименьшего из коэффициентов теплоотдачи, оребрение поверхностей, воздействие на пограничный слой.