

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**

**Институт транспорта и логистики
Кафедра двигателей внутреннего сгорания**

УТВЕРЖДАЮ
Директор института транспорта и логистики
Быкадоров В.В.
2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ТЕПЛОМАССООБМЕН»

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль «Двигатели внутреннего сгорания»

Луганск 2023

Лист согласования рабочей программы учебной дисциплины

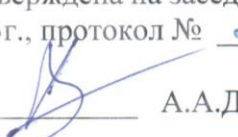
Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Тепломассообмен». – 46 с.

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Тепломассообмен» разработана с учетом ФГОС ВО: Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 145.

СОСТАВИТЕЛИ:

д-р. техн. наук, доц. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Киреев А.Н.,
канд. техн. наук, доц. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Данилейченко А.А.,
старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Ковтун А.С.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» 12.04 2023г., протокол № 8

Заведующий кафедрой  А.А.Данилейченко

Переутверждена: « » 202_ г., протокол №

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института транспорта и логистики
«14» 04 2023 г., протокол № 8

Председатель учебно-методической
комиссии института



Е.И.Иванова

© Киреев А.А., Данилейченко А.А.,
Ковтун А.С. 2023 год
© ФГБОУ ВО «ЛНУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины – изучение законов и методов получения, преобразования, передачи и использования тепловой энергии (теплоты) в тепломеханических агрегатах (тепловых машинах, двигателях технологического оборудования, аппаратах и устройствах) и их системах.

Задачи дисциплины – формирование багажа знаний, которые позволят будущему специалисту правильно выполнять теплотехнические расчеты, повышать качество и эффективность работы тепломеханических агрегатов и технологического оборудования, новых технологических процессов.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Тепломассообмен» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, модуль профессиональных дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Основывается на базе дисциплин: термодинамика и теплопередача, физика, математика.

Является основой для изучения следующих дисциплин: теория рабочих процессов ДВС, волновые обменники давления, автотракторные ДВС, системы ДВС, конструирование ДВС.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.3. Применяет законы термодинамики, тепломассообмена, электричества и магнетизма, основ оптики, квантовой механики и атомной физики, химических процессов для решения профессиональных задач.	Знать теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, основы конструкции энергопреобразующих устройств и установок, основы расчета и анализа результатов практического эксперимента. Уметь демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, знания основ конструкции энергопреобразующих устройств и установок. Владеть теоретическими основами рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках.
--	--	--

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	144 (4 зач. ед)	144 (4 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	85	16
в том числе:		
Лекции	34	8
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	34	4
Лабораторные работы	17	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры,	18	18

<i>тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций, индивидуальное задание и т.п.)</i>		
Самостоятельная работа студента (всего)	59	128
Форма аттестации	Зачет 6 сем	Зачет 7 сем

4.2. Содержание разделов дисциплины

1. Физические принципы переноса теплоты. Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность. Основные понятия, определения и законы переноса теплоты.

2. Виды процессов теплообмена. Теплопроводность однослойной и многослойной плоских стенок. Теплопроводность цилиндрических стенок. Теплопроводность тел сложной формы. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты. Условия нестационарного режима теплопроводности.

3. Охлаждение (нагревание) тел различной формы. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме теплообмена. Теоремы Кондратьева.

4. Конвективный теплообмен. Особенности конвективного теплообмена. Уравнение конвективного теплообмена. Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции, при ламинарном и турбулентном движении среды. Методы определения коэффициента теплоотдачи. Условия подобия процессов теплообмена. Критериальные уравнения конвективного теплообмена.

5. Теплообмен излучением. Особенности теплообмена излучением. Основные понятия и определения. Основные законы излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Теплообмен излучением в газах.

6. Сложный теплообмен. Виды сложного теплообмена при излучении и теплопроводности – радиационно-кондуктивный теплообмен. Теплообмен при излучении и конвекции – радиационно-конвективный теплообмен.

7. Теплопередача. Основы массопереноса. Уравнения переноса энергии и массы. Молярная диффузия. Теплообмен в условиях массопереноса. Явления тепломассопереноса в капиллярно-пористых телах. Теплообмен при фазовых превращениях.

8. Теплообменные аппараты. Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении. Тепломассообмен в двухкомпонентных средах при конденсации и испарении. Классификация теплообменных аппаратов.

9. Схема расчета теплообменных аппаратов и устройств. Расчет рекуперативных теплообменников. Расчет регенераторов.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Физические принципы переноса теплоты. Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.	4	2
2	Основные понятия, определения и законы переноса теплоты.	4	
3	Охлаждение (нагревание) тел различной формы. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме теплообмена. Теоремы Кондратьева.	4	2
4	Конвективный теплообмен. Особенности конвективного теплообмена. Уравнение конвективного теплообмена. Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции, при ламинарном и турбулентном движении среды. Методы определения коэффициента	4	

	теплоотдачи. Условия подобия процессов теплообмена. Критерриальные уравнения конвективного теплообмена.		
5	Теплообмен излучением. Особенности теплообмена излучением. Основные понятия и определения. Основные законы излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Теплообмен излучением в газах.	4	2
6	Сложный теплообмен. Виды сложного теплообмен при излучении и теплопроводности – радиационно-кондуктивный теплообмен. Теплообмен при излучении и конвекции – радиационно-конвективный теплообмен.	4	
7	Теплопередача. Основы массопереноса. Уравнения переноса энергии и массы. Молярная диффузия. Теплообмен в условиях массопереноса. Явления тепломассопереноса в капиллярно-пористых телах. Теплообмен при фазовых превращениях.	4	2
8	Теплообменные аппараты. Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении. Тепломассообмен в двухкомпонентных средах при конденсации и испарении. Классификация теплообменных аппаратов. .	2	
9	Схема расчета теплообменных аппаратов и устройств. Расчет рекуперативных теплообменников. Расчет регенераторов.	4	
	Итого:	34	8

4.5. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.	4	1
2	Основные понятия, определения и законы переноса теплоты.	6	
3	Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме теплообмена	4	1
4	Методы определения коэффициента теплоотдачи. Условия подобия процессов теплообмена.	6	
5	Особенности теплообмена излучением. Основные понятия и определения. Основные законы излучения.	4	1
6	Уравнения переноса энергии и массы. Молярная диффузия. Теплообмен в условиях массопереноса.	4	
7	Основы расчета теплообменных аппаратов.	6	1
	Итого:	34	4

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма

1	Определение теплоемкости воздуха.	3	1
2	Процессы во влажном воздухе	3	
3	Исследование процесса истечения воздуха из сужающегося сопла.	3	1
4	Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляции методом трубы	3	1
5	Исследование теплоотдачи горизонтальной трубы при естественной конвекции	5	1
	Итого:	17	4

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Изучение лекционных тем	Изучение лекционного материала из учебника	16	66
2	Анализ термодинамических циклов	Изучение лекционного материала из учебника	15	66
3	Расчет теплообменного аппарата	задание	18	18
	Итого:		59	128

4.7. Курсовые работы/проекты. Не предусмотрено учебным планом.

5. Образовательные технологии

В процессе обучения для достижения планируемых результатов освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;
- информационно-коммуникационная технология, в том числе визуализация, создание электронных учебных материалов;
- использование электронных образовательных ресурсов при подготовке к лекциям, практическим и лабораторным занятиям;
- технология проблемного обучения, в том числе в рамках разбора проблемных ситуаций;
- технология развивающего обучения, в том числе постановка и решение задач от менее сложных к более сложным, развивающих компетенции студентов.

В рамках перечисленных технологий основными методами обучения являются: работа в команде; самостоятельная работа; проблемное обучение.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Куликов Ю. А. Теоретические основы термодинамики и тепломассообмена [Текст]: учебник / Ю. А. Куликов. - Луганск: Ноулидж, 2015. - 360 с. - Библиогр.: с. 345 - 346. - ISBN 978-966-8827-93-0: 350 р.
2. Куликов Ю. А. Теоретические основы теплотехники [Текст]: учебное пособие / Ю. А. Куликов. - Луганск: Элтон-2, 2009. - 331 с. - Библиогр.: с. 319-320. - ISBN 978-966-8827-85-3 : 35 грн.

3. Компактные теплообменники из пучков труб с винтовым оребрением для транспортных машин [Текст]: монография / Ю. А. Куликов [и др.]; [под ред. Куликова Ю.А.]. - Луганск: Елтон-2, 2011. - 200 с. - Библиогр.: с. 191. - ISBN 978-617-563-105-8 : 150 р.
4. Куликов Ю. А. Теоретические основы тепломассообмена [Текст]: учебник / Ю. А. Куликов; М-во образования и науки Украины, Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск: Ноулидж, 2014. - 234 с. - Библиогр.: с. 231-232. - ISBN 978-966-8827-85-3 : 160 р.

б) дополнительная литература:

5. Куликов Ю. А. Теплопередача: учебник / Ю. А. Куликов.- Луганск:, Из-во Ноулинж, 2018. – 142 с.
6. Куликов Ю.А., Ажипо А.Г., Гончаров А.В., Быкадоров В.В. Оробцов Т.А. (под ред. проф., д-та, Куликова Ю.А.) Компактные теплообменники из пучков труб с винтовым оребрением для транспортных машин. Монография.- Луганск: Изд-во «Элтон-2», 2011. – 201с. ISBN 978-617-563-105-8.
7. Куликов Ю. А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов. Изд-е 2-е, стереотипное / Ю. А. Куликов. - Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2016. - 280 с. ISBN 5-217-00094-5.
8. Куликов Ю. А., Быкадоров В.В., Котнов А.С., Ажиппо А.Г., Грибиниченко М.В., Гончаров А.В., Томачинский Ю.Н., Пыхтя В.А., Верховодов А.А. (под ред. проф., д.т.н, Куликова Ю.А.) Теплоэнергетические системы транспортных машин: монография/ -Луганск: Изд-во «Элтон- 2», 2009. – 365 с. ISBN 978-617-563-012-0.
9. Видин, Ю. В. Техническая термодинамика и тепломассообмен : учебное пособие / Ю. В. Видин, В. С. Злобин. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 332 с. - ISBN 978-5-7638-4212-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1830718> (дата обращения: 27.01.2024).
10. Видин, Ю. В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: Учебное пособие / Видин Ю.В., Казаков Р.В., Колосов В.В. - Краснояр.:СФУ, 2015. - 370 с.: ISBN 978-5-7638-3302-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/967810> (дата обращения: 27.01.2024).
11. Видин, Ю. В. Инженерные методы расчета задач теплообмена [Электронный ресурс] : монография / Ю. В. Видин, В. В. Иванов, Р. В. Казаков. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. - 168 с. - ISBN 978-5-7638-2940-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/506059> (дата обращения: 27.01.2024).
12. Горбачев, М. В. Тепломассообмен. Теплопроводность : учебное пособие / М. В. Горбачев. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 76 с. - ISBN 978-5-7782-4134-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1868890> (дата обращения: 27.01.2024).
13. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учебное пособие / А.А. Кудинов. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 375 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-009965-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1842529> (дата обращения: 27.01.2024).
14. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учебник / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 464 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-004803-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1794138> (дата обращения: 27.01.2024).

в) методические указания:

15. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Теплотехника" [Электронный ресурс]: для студентов всех специальностей/ Сост.: Н.Г. Банников, Ю.А.Куликов, Н.А.Толкачев. - Луганск: Изд-во ВНУ им. Даля, 2013.-53 с.
16. Методические указания к выполнению индивидуального задания по дисциплине "Теоретические основы теплотехники" [Электронный ресурс]: для студентов всех специальностей / Сост.: Н.Г. Банников, В.А. Волков, Ю.А.Куликов, А.Н.Кинщак, В.А. Рыбальченко - Луганск: Изд-во ВНУ им. Даля, 2013.-46 с.
17. Методические указания к выполнению домашнего задания «Расчет теплообменных аппаратов» по дисциплине «Основы теплотехники» [Электронный ресурс]: для студентов всех специальностей / Сост.: Ю.А.Куликов, Ю.А.Шманев. - Луганск: Изд-во ВНУ им. Даля, 2013.-30с.

18. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Прикладная термодинамика»: для студентов инженерных специальностей [Электронный ресурс]/ Сост.: А.С Ковтун. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2018. – 17с.
19. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Тепломассообмен»: для студентов специальности 13.03.03 Двигатели внутреннего сгорания [Электронный ресурс]/ Сост.: Ю.А. Куликов. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2018. – 12с.

2) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
 Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
 Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>
 Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>
 Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
 Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
 Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>
 Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>
 Электронные библиотечные системы и ресурсы
 Электронно-библиотечная система «Консультант-студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>
 Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>
 Информационный ресурс библиотеки образовательной организации
 Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся в академических аудиториях.

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Практические занятия: проводятся с использованием раздаточного материала, наглядных пособий, демонстрационных плакатов. Прочее: комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме.

Лабораторные работы: лаборатория ДВС, оснащенная специализированными лабораторными стендами (Стенд «Всетин» с ДВС, стенды с дизелями 5Д2, 6ЧН12/14, 1Ч12/14, 5Д4, стенд СДТА, стенд «Motorpal», стенд с ДВС 4ЧН8,5/11 с волновым обменником давления, наглядное пособие двигатель ТВЗ-117 и СПГТ, лабораторные стенды 1, 2, 3, 4 по теплотехнике, лабораторное контрольно-измерительное оборудование, наглядные пособия), плакаты со схемами лабораторных работ, шаблоны отчетов по лабораторным работам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет (комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме).

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu

Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Тепломассообмен»

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Базовый	Знать теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, основы конструкции энергопреобразующих устройств и установок, основы расчета и анализа результатов практического эксперимента.
Основной		Повышенный	Уметь демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, знания основ конструкции энергопреобразующих устройств и установок.
Заключительный		Высокий	Владеть теоретическими основами рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках.

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по	Контролируемые разделы (темы) учебной	Этапы формирования
-------	--------------------	---	---------------------------------------	---------------------------------------	--------------------

	компете нции		реализуемой дисциплине)	дисциплины	(семестр изучения)
1	ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.3. Применяет законы термодинамики, теплообмена, электричества и магнетизма, основ оптики, квантовой механики и атомной физики, химических процессов для решения профессиональных задач.	Тема 1 Физические принципы переноса теплоты. Стационарная теплопроводность.	6/7
				Тема 2 Основные понятия, определения и законы переноса теплоты.	
				Тема 3 Охлаждение (нагревание) тел различной формы. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме теплообмена. Теоремы Кондратьева.	
				Тема 4 Конвективный теплообмен. Особенности конвективного теплообмена. Уравнение конвективного теплообмена.	
				Тема 5 Теплообмен излучением. Особенности теплообмена излучением. Основные понятия и определения.	
				Тема 6 Теплообмен излучением. Особенности теплообмена излучением. Основные понятия и определения.	
				Тема 7 Теплопередача. Основы массопереноса. Уравнения переноса энергии и массы.	

				Тема 8 Теплообменные аппараты. Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении. Тепломассообмен в двухкомпонентных средах при конденсации и испарении. Классификация теплообменных аппаратов.	
				Тема 9 Схема расчета теплообменных аппаратов и устройств. Расчет рекуперативных теплообменников. Расчет регенераторов.	

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1	ОПК-3	ОПК-3.3. Применяет законы термодинамики, тепломассообмена, электричества и магнетизма, основ оптики, квантовой механики и атомной физики, химических процессов для решения профессиональных задач.	Знать теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, основы конструкции энергопреобразующих устройств и установок, основы расчета и анализа результатов практического эксперимента. Уметь демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, знания	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9	Практическое, лабораторные работы, задание

			основ конструкции энергопреобразующих устройств и установок. Владеть теоретическими основами рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках.		
--	--	--	--	--	--

Диагностическое контрольное тестирование:

Комплект тестовых заданий, позволяющих осуществить оценку компетенции

ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.3. Применяет законы термодинамики, тепломассообмена, электричества и магнетизма, основ оптики, квантовой механики и атомной физики, химических процессов для решения профессиональных задач.
--	--

образовательной программы 13.03.03 Энергетическое машиностроение, профиль «Двигатели внутреннего сгорания» дисциплина «Тепломассообмен»

ВАРИАНТ 1

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 1.

Прочитайте текст, выберите все правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какие процессы сопровождаются массообменом?

- 1) испарение.
- 2) сушка.
- 3) теплопроводность.
- 4) конденсация.
- 5) излучение.

Ответ: 124

Обоснование: теплообмен при испарении, сушек и конденсации сопровождается перемещением вещества, т.е. массы, следовательно, данные процессы сопровождаются массообменом. При теплопроводности и излучении движения масс вещества отсутствует.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

Прочитайте текст, выберите все правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В каких единицах измеряется градиент температуры?

- 1) кг·м/К.
- 2) К.
- 3) К/м.
- 4) К/м².
- 5) °С/м.

Ответ: 35

Обоснование: градиент скалярного поля U (например, температуры) по определению – это

вектор, определённый в каждой точке поля, и направленный в данной точке нормально к поверхности уровня в сторону возрастания U . Согласно выражению градиента скалярной функции U , например, в декартовой системе координат, имеющего вид

$$\text{grad}U = \frac{\partial U}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{k},$$

размерность градиента равна отношению размерности U к размерности длины. Так в системе СИ размерность градиента температуры равна: $\dim [\text{grad } U] = \text{К/м}$. Для эмпирических шкал температуры, например, шкалы Цельсия, единицы измерения которых относящихся к внесистемным единицам, размерность градиента температуры, равна: $\dim [\text{grad } U] = ^\circ\text{С/м}$.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

В каком случае наблюдается явление теплопроводности?

- 1) в твёрдых телах.
- 2) в жидкостях и газах при любых условиях.
- 3) в неподвижных жидкостях и газах при условии невозможности возникновения в них конвективных потоков.
- 4) только в жидкостях.
- 5) только в газах.

Ответ: 13

Обоснование: теплопроводность определяется тепловым движением микрочастиц тела. В чистом виде теплопроводность наблюдается в твердых телах и неподвижных газах и жидкостях при условии отсутствия в них конвективных потоков: варианты 1) и 3).

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие из перечисленных случаев можно отнести к теплообмену излучением?

- 1) распространение энергии путём колебания атомов кристаллической решетки вещества.
- 2) распространение электромагнитных волн в пространстве от нагретого тела и поглощение их другими телами.
- 3) возникновение потока свободных электронов внутри твердого тела, направленного в сторону убывания температуры материала.
- 4) передача энергии потоком свободных электронов в пространстве от горячего тела другим телам в результате термоэлектронной эмиссии.
- 5) потоком больших объёмов вещества, возникающих в сплошной среде.

Ответ: 24

Обоснование: вариант 2) собственно является классическим определением излучения как вида переноса тепловой энергии. Вариант 4) также можно отнести к излучению, т.к. поток электронов – это β -излучение – вид радиационного излучения. При термоэлектронной эмиссии передача тепла от горячего тела к другим телам осуществляется потоком электронов, движущихся в пространстве, и, следовательно, переносящих энергию. Варианты 1) и 3) относятся к теплопроводности, вариант 5) – к конвективному теплообмену.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Уравнение теплопроводности Фурье является:

- 1) эмпирическим.
- 2) алгебраическим.
- 3) дифференциальным уравнением в частных производных.
- 4) обыкновенным дифференциальным уравнением.
- 5) трансцендентным.

Ответ: 3

Обоснование: уравнение теплопроводности Фурье включает оператор Лапласа, являющийся суммой вторых частных производных температурного поля по координатам и первую частную производную от температуры по времени. Согласно теории дифференциальных уравнений, уравнение Фурье является дифференциальным уравнением в частных производных.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Число Нуссельта представляет собой:

- 1) относительную подъёмную силу, возникающую вследствие разности плотности сплошной среды.
- 2) отношение сил инерции к силам вязкого трения.
- 3) отношение кинематической вязкости к теплопроводности.
- 4) отношение объёма сплошной среды к заключённой в нём массе.
- 5) безразмерный коэффициент теплоотдачи.

Ответ: 5

Обоснование: по определению число Нуссельта является безразмерным коэффициентом теплоотдачи. Число Нуссельта Nu является безразмерным комплексом подобия наряду с числами Эйлера, Грасгофа, Прандтля, Рейнольдса и др.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Перенос вещества в смеси, вызванный хаотическим тепловым движением молекул, называется:

- 1) адгезия.
- 2) молекулярная диффузия.
- 3) квантовая флуктуация.
- 4) сублимация.
- 5) конденсация.

Ответ: 2

Обоснование: по определению, молекулярная диффузия – это перенос вещества в смеси, вызванный хаотическим тепловым движением молекул.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В теплообменном аппарате осуществляется:

- 1) передача работы от одного рабочего тела другому.
- 2) передача тепла и работы от одного рабочего тела другому.
- 3) преобразование теплоты рабочего тела в работу.
- 4) передача тепла от горячего теплоносителя холодному.
- 5) преобразование работы внешних сил в тепло.

Ответ: 4

Обоснование: теплообменный аппарат – статическое устройство, в котором передача энергии от горячего теплоносителя холодному осуществляется в форме тепла – никакой работы в теплообменном аппарате не совершается в принципе (не учитывая работу сил внутреннего трения, обусловленного вязкостью, в движущихся потоках теплоносителей).

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется передача тепла от горячего теплоносителя холодному в рекуперативном теплообменном аппарате?

- 1) передача тепла от стенки проточного тракта холодному теплоносителю, одновременное понижение температуры горячего теплоносителя.
- 2) поступление горячего и холодного теплоносителей в теплообменник по соответствующим патрубкам.
- 3) передача теплового потока от горячего теплоносителя к стенкам проточного тракта.
- 4) выход холодного нагретого и горячего охлажденного потоков теплоносителей через соответствующие патрубки теплообменника.
- 5) прохождение теплового потока через материал стенок проточного тракта теплообменника.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	3	5	1	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется движение теплоносителя в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания, начиная с момента передачи тепла от стенок цилиндров к охлаждающей жидкости?

- 1) при движении через проточный тракт радиатора сверху вниз жидкость охлаждается, передавая тепловой поток через стенки радиатора атмосферному воздуху.
- 2) горячая охлаждающая жидкость поступает через верхний патрубок в радиатор.
- 3) под действием перепада давления, создаваемого циркуляционным насосом, охлажденная жидкость поступает снизу в зарубашечное пространство двигателя.
- 4) охлажденная жидкость поступает в нижний патрубок радиатора.
- 5) охлаждающая жидкость омывает стенки цилиндров и нагревается, отбирая тепло, отводимое от двигателя.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

5	2	1	4	3
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности происходит изменение термодинамических параметров и агрегатного состояния вещества по мере подвода тепла?

- 1) передача телу теплоты плавления и нагрев тела до температуры плавления.
- 2) фазовый переход вещества из твёрдого в жидкое состояние.
- 3) нагрев вещества в твёрдом агрегатном состоянии.
- 4) передача жидкости теплоты парообразования; фазовый переход вещества в газообразное состояние; объёмное кипение жидкости.
- 5) нагрев жидкости сопутствующий испарением с поверхности.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	1	2	5	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности в общем случае проводится проектный расчёт теплообменного аппарата?

- 1) расчёт среднего температурного напора.
- 2) вычисление конечных температур теплоносителей.
- 3) определение геометрических параметров теплообменных элементов.
- 4) определение расходных теплоёмкостей теплоносителей.
- 5) вычисление поверхности теплообмена.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	2	1	5	3
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между физическими величинами, используемыми в расчётах теплообмена, и единицами их измерения.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Коэффициент теплопроводности	1	Вт
Б	Коэффициент теплоотдачи	2	Вт/(м ² ·К)
В	Тепловой поток	3	Вт/м ³
Г	Плотность теплового потока	4	Вт/(м·К)
		5	Вт/м ²

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	2	1	5

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между уравнениями и описываемыми ими законами или явлениями теплообмена и массообмена, названными именами учёных.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Уравнение теплопроводности	1	Теплоотдача
Б	Уравнение Ньютона-Рихмана	2	Закон Стефана-Больцмана
В	Уравнение диффузии	3	Закон Фурье
Г	Уравнение плотности потока интегрального излучения абсолютно чёрного тела	4	Закон Фика
		5	Закон Кирхгофа

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
3	1	4	2

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между классами веществ и материалов и диапазонами изменения их коэффициента теплопроводности λ

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Газы	1	20...418 Вт/(м·К)
Б	Жидкости	2	0,006...0,6 Вт/(м·К)
В	Теплоизоляционные строительные материалы пористой структуры	3	Менее 0,25 Вт/(м·К)
Г	Металлы	4	800...1000 Вт/(м·К)
		5	0,07...0,7 Вт/(м·К)

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	5	3	1

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить тепловой поток, передаваемый от стенки к жидкости, если площадь поверхности теплообмена составляет $2,5 \text{ м}^2$, температура стенки 75°C , температура жидкости 40°C , а коэффициент теплоотдачи $12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$.

Ответ (решение): теплообмен между стенкой и жидкостью осуществляется теплоотдачей. Тепловой поток q , передаваемый от стенки в жидкость, определяется по уравнению Ньютона-Рихмана

$$q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T = \alpha \cdot F \cdot (t_w - t_l) = 12 \cdot 2,5 \cdot (75 - 40) = 1050 \text{ Вт},$$

где t_w и t_l – температура стенки и жидкости соответственно, F – площадь поверхности теплообмена, α – коэффициент теплоотдачи. Т.к. разности температур по шкале Цельсия и Кельвина одинаковы, то переводить температуры стенки и жидкости в Кельвины не требуется.

Тепловой поток от стенки к жидкости равен 1050 Вт.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить количество тепла Q , переданное от стенки окружающему газу за 10 минут, если тепловой поток q изменяется по закону

$$q = 16e^{-0,3t}.$$

Ответ (решение): тепловой поток, передаваемый от стенки к окружающей газовой среде, является функцией времени, т.е. переменной величиной. Элементарное бесконечно малое количество тепла dQ , переданное от стенки к окружающему газу за бесконечно малый промежуток времени dt будет равно

$$dQ = q(t)dt.$$

Очевидно, количество тепла, переданное за конечное время t , определяется интегралом

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^t q(t)dt = \int_0^t 16e^{-0,3t} dt = \frac{16}{-0,3} \int_0^t e^{-0,3t} d(-0,3t) = \frac{16}{-0,3} e^{-0,3t} \Big|_0^t = \\ &= \frac{16}{-0,3} (e^{-0,3t} - 1) = \frac{16}{-0,3} (e^{-0,3 \cdot 10} - 1) = \frac{16}{-0,3} (e^{-3} - 1) = 50,7 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Т.к. в задании отдельно не оговорена единица измерения времени, являющегося аргументом функции $q(t)$, то при вычислении интеграла время было взято в минутах.

От стенки к окружающему газу за 10 мин передано 50,7 Дж тепла.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Найти плотность теплового потока q и тепловой поток Q в круглом стержне диаметром 25 мм, если градиент температуры вдоль стержня постоянный и равен 65 К/м, а коэффициент теплопроводности материала стержня 14 Вт/(м·К).

Ответ (решение): передача тепла в данном случае осуществляется теплопроводностью. Плотность теплового потока q , передаваемого через стержень, определяется по уравнению Фурье

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t = -14 \cdot 65 = -910 \text{ Вт/м}^2.$$

где λ – коэффициент теплопроводности.

Тепловой поток, передаваемый через стержень, равен

$$Q = q \cdot F = q \cdot \pi \frac{d^2}{4} = 910 \cdot 3,14 \frac{(25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,446 \text{ Вт}.$$

Плотностью теплового потока здесь взята по модулю, т.е. знак «–» перед « q » опущен, т.к. он выражает противоположность направлений градиента температуры и переноса тепла; в задаче же требуется найти численные значения величин теплового потока и плотности теплового потока.

Плотность теплового потока в стержне составляет 910 Вт/м², тепловой поток через стержень равен 0,446 Вт.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить тепловой поток, проходящий через плоскую стенку толщиной 12 мм и её термическое сопротивление, если разность температур на внутренней и наружной сторонах стенки равна 150°C, коэффициент теплопроводности материала стенки равен 8 Вт/(м·К).

Ответ (решение): исходя из решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье, закон изменения температуры по толщине плоской стенки при постоянстве коэффициента теплопроводности и стационарном режиме теплопередачи является линейным. Тепловой поток через плоскую стенку определяется уравнением

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) = \frac{8}{12 \cdot 10^{-3}} \cdot 150 = 10^5 \text{ Вт/м}^2,$$

где $t_{w1} - t_{w2} = 150^\circ\text{C}$ – заданный по условию перепад температуры на внутренней и наружной сторонах стенки. Т.к. в формулу теплового потока входит разность температур, то перевод из шкалы Цельсия в Кельвины не требуется, т.к. она одинаковая.

Термическое сопротивление однородной плоской стенки R_t равно отношению δ/λ

$$R_t = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{8} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Тепловой поток через плоскую стенку равен 100 кВт/м², термическое сопротивление стенки равно 1,5·10⁻³ м²·К/Вт.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

По трубе внутренним диаметром 25 мм движется вода. Определить коэффициент теплоотдачи α от стенки трубы воде, если число Нуссельта $Nu = 130$, а коэффициент теплопроводности воды $\lambda = 0,62$ Вт/м·К.

Ответ (решение): из выражения числа Нуссельта получаем формулу для определения коэффициента теплоотдачи α

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_0}{\lambda} \Rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_0},$$

где l_0 – характерный геометрический размер течения; в данной задаче характерным размером является диаметр трубы d_T . Тогда, подставляя диаметр трубы, получаем выражение для α

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_T} = \frac{130 \cdot 0,62}{25 \cdot 10^{-3}} = 3224 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы воде равен 3224 Вт/(м²·К).

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	124	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	35	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	13	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	24	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	3	1б – полное правильное соответствие

		06 – остальные случаи
6.	5	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
7.	2	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
8.	4	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
9.	23514	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
10.	52143	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
11.	31254	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
12.	42153	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
13.	A4B2B1Г5	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
14.	A3B1B4Г2	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
15.	A2B5B3Г1	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
16.	Тепловой поток от стенки к жидкости равен 1050 Вт.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	От стенки к окружающему газу за 10 мин передано 50,7 Дж тепла.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Плотность теплового потока в стержне составляет 910 Вт/м ² , тепловой поток через стержень равен 0,446 Вт.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Тепловой поток через плоскую стенку равен 100 кВт/м ² , термическое сопротивление стенки равно 1,5·10 ⁻³ м ² ·К/Вт.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы воде равен 3224 Вт/(м ² ·К).	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

ВАРИАНТ 2

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 1.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какими процессами сопровождается эффект Лейденфроста?

- 1) конденсацией.
- 2) теплоотдачей.
- 3) кипением.
- 4) кристаллизацией.
- 5) массообменом.

Ответ: 235

Обоснование: эффект Лейденфроста проявляется в относительно медленном испарении капли жидкости, двигающейся по поверхности, температура которой значительно превышает температуру кипения жидкости. Быстрое испарение нижнего слоя жидкости, соприкасающегося с твёрдой поверхностью, вызывает образование паровой прослойки с большим термическим сопротивлением, снижающей тепловой поток от горячей твёрдой поверхности к жидкой фазе. При этом происходят такие физические процессы: теплоотдача (вариант 2) от твёрдой поверхности к жидкости; переходное или плёночное кипение жидкости (вариант 3); массообмен (вариант 5) между жидкой фазой и окружающей средой, жидкой фазой и паровым поддерживающим слоем, а также паровым слоем и окружающей средой.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Каких видов кипения не существует?

- 1) сублимационное.
- 2) плёночное.
- 3) пузырьковое.
- 4) кристаллизационное.
- 5) конденсационное.

Ответ: 145

Обоснование: кипение – это интенсивное парообразование в объёме жидкости и на твёрдой поверхности нагрева. Кипение может осуществляться в двух режимах: пузырьковом и плёночном, указанных в вариантах 2) и 3) соответственно. Остальные предложенные варианты видов кипения 1) 4) 5) не существуют.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие существуют виды конденсации пара?

- 1) капельная.
- 2) термическая.
- 3) адиабатическая.
- 4) вакуумная.
- 5) плёночная.

Ответ: 15

Обоснование: конденсация – это процесс фазового перехода из газообразного агрегатного состояния вещества в жидкое при соприкосновении с поверхностью, имеющей температуру меньшую, чем температура насыщения. Существует два вида конденсации пара: капельная и плёночная, указанные в вариантах 1) и 5) соответственно. Остальные виды конденсации, предложенные в вариантах 2) 3) 4), не существуют.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Тепловой поток, распространяющийся в твердом теле возрастает при:

- 1) уменьшении термического сопротивления.
- 2) увеличении перепада температуры на границах твёрдого тела.
- 3) уменьшении перепада температуры на границах твёрдого тела.
- 4) уменьшении линейного размера твёрдого тела, вдоль которого передаётся тепловой поток.
- 5) увеличении коэффициента теплопроводности.

Ответ: 1245

Обоснование: тепловой поток прямо пропорционален перепаду температур на границах твёрдого тела, между которыми он распространяется, и коэффициенту теплопроводности материала; и обратно пропорционален термическому сопротивлению материала и линейному размеру тела, вдоль которого передаётся тепло (длина стержня, вдоль которого передаётся тепло или толщина стенки). Т.о. верными являются варианты 1) 2) 4) 5). Вариант 3) является неверным, т.к. при уменьшении перепада температуры на границах твёрдого тела тепловой поток уменьшается.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

По какому закону при теплопроводности изменяется температура в однородной цилиндрической стенке в зависимости от радиальной координаты?

- 1) логарифмический.
- 2) экспоненциальный.
- 3) линейный.
- 4) квадратная парабола.
- 5) кубическая парабола.

Ответ: 1

Обоснование: на основании решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье для цилиндрической однородной стенки при стационарном режиме теплопроводности температура внутри стенки по радиусу изменяется по логарифмической кривой.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

В каких единицах измеряется коэффициент теплоотдачи?

- 1) Дж/(кг·К)
- 2) Дж/(м²·К)
- 3) Дж/(м·К)

- 4) $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
- 5) $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Ответ: 4

Обоснование: по определению коэффициент теплоотдачи – это количество тепла, отдаваемого или получаемого единицей площади поверхности теплообмена в единицу времени при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в 1К. Следовательно, размерность коэффициента теплоотдачи (в системе СИ) $\dim [\alpha] = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (вариант 4).

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Как изменяется температура в плоской однородной стенке при стационарной теплопроводности по толщине?

- 1) по квадратной параболе.
- 2) по кубической параболе.
- 3) линейно.
- 4) по тангенсоиде.
- 5) по гиперболическому косинусу.

Ответ: 3

Обоснование: на основании решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье для плоской однородной стенки при стационарном режиме теплопроводности температура внутри стенки по толщине изменяется линейно.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Плотность потока массы вещества, переносимого путём диффузии, выражается законом:

- 1) Ньютона.
- 2) Фика.
- 3) Амонтона-Куллона.
- 4) Паскаля.
- 5) Ломоносова.

Ответ: 2

Обоснование: плотность потока массы вещества, переносимого путём диффузии, определяется по закону Фика, (вариант 2) и выражается уравнением, связывающим плотность потока массы вещества, градиент концентрации вещества и коэффициент диффузии.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется тепломассообменные процессы в вихревой трубке?

- 1) одновременное истечение разделённых потоков: горячего – через регулируемый вентиль и холодного – через диафрагму в центре трубки, соответственно.

- 2) движение горячего газового потока к регулируемому вентилю; одновременное с этим движение холодного газового потока вдоль оси трубки в противоположном направлении.
- 3) движение газа внутри вихревой трубки по винтовой траектории.
- 4) подвод газа высокого давления во входное сопло.
- 5) разделение движущегося газа внутри вихревой трубки на два потока с перераспределением температуры.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	3	5	2	1
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется теплообмен между охлаждаемым объектом и окружающей средой посредством холодильной машины?

- 1) под действием разности температур между охлаждаемым объектом и теплообменником низкого температурного уровня возникает тепловой поток, передаваемый в цикл холодильной машины.
- 2) подведенная работа в виде эквивалентного количества тепла и тепла, отобранного у охлаждаемого объекта, передаётся с потоком рабочего тела в теплообменник высокого температурного уровня.
- 3) за счёт разности температур между теплообменником высокого температурного уровня и окружающей средой происходит теплопередача суммарного тепла, отобранного от охлаждаемого объекта и тепла, эквивалентного механической работе, подведенной в цикл холодильной машины от внешнего источника.
- 4) тепловой поток максимального температурного потенциала передаётся теплопроводностью через стенки теплообменника высокого температурного уровня.
- 5) в цикл холодильной машины подводится внешняя работа, затрачиваемая на сжатие рабочего тела (хладагента).

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	5	2	4	3
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется передача тепла от горячего теплоносителя холодному в регенеративном теплообменном аппарате?

- 1) охлаждение теплоаккумулирующего элемента и нагрев холодного теплоносителя в процессе теплообмена; истечение нагретого холодного теплоносителя из теплообменника.
- 2) подвод горячего теплоносителя в теплоаккумулирующий проточный элемент.
- 3) подвод холодного теплоносителя в нагретый теплоаккумулирующий проточный элемент.
- 4) истечение охлаждённого горячего теплоносителя из теплообменника.
- 5) охлаждение горячего теплоносителя и нагрев теплоаккумулирующему элементу в процессе теплообмена.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	5	4	3	1
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности располагаются вещества по мере увеличения их коэффициента теплопроводности?

- 1) пористые строительные теплоизоляционные материалы.
- 2) металлы.
- 3) жидкости.
- 4) неметаллы.
- 5) газы.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

5	3	1	4	2
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между критериями подобия и их определениями

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Число Фруда	1	Отношение локальной силы от неустановившегося движения к силе инерции потока
Б	Число Рейнольдса	2	Отношение силы гидродинамического давления к силе инерции потока
В	Число Струхала	3	Отношение силы вязкостного трения к силе инерции
Г	Число Эйлера	4	Отношение скорости потока к местной скорости звука
		5	Отношение веса к силе инерции единицы объёма среды

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
5	3	1	2

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между градиентами физических величин и их размерностями

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Градиент температуры	1	К/м
Б	Градиент плотности	2	Па·с
В	Градиент скорости	3	кг/(с ² ·м ²)
Г	Градиент давления	4	кг/м ⁴
		5	с ⁻¹

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
1	4	5	3

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между типами и видами теплообменных аппаратов и особенностями их рабочих процессов

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Контактный (смесительный) теплообменник	1	Попеременное заполнение теплоаккумулирующего проточного элемента горячим и холодным теплоносителем
Б	Регенеративный теплообменник	2	Движение горячего и холодного теплоносителя осуществляется в одном направлении
В	Рекуперативный теплообменник	3	Движения горячего и холодного теплоносителя перекрёстно направлены
Г	Прямоточный теплообменник	4	Непосредственное соприкосновение и перемешивание горячего и холодного теплоносителей
		5	Одновременное протекание горячего и холодного теплоносителей через проточные элементы аппарата; отсутствие непосредственного контакта теплоносителей; передача тепла через разделяющие стенки

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	1	5	2

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

В цилиндрической ёмкости объёмом 20 л налита вода при температуре 80°C. Определить за какое время вода остынет до температуры 45°C и какое количество теплоты при этом будет передано стенкам ёмкости, если в процессе теплоотдачи от воды стенкам коэффициент теплоотдачи α постоянный и равен 28 Вт/(м²·К), разность температур воды и внутренней поверхности стенки Δt также постоянна и равна 8°C. Удельную массовую теплоёмкость воды c_m принять постоянной в расчётном интервале температур и равной 4,2 кДж/(кг·К). Плотность воды $\rho_v = 1$ кг/л. Диаметр ёмкости равен её высоте.

Ответ (решение): теплоотдача от воды стенкам ёмкости описывается уравнением Ньютона-Рихмана

$$q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T,$$

где q – тепловая мощность, передаваемая от воды стенкам ёмкости, α – коэффициент теплоотдачи, заданный по условию постоянным и равным 28 Вт/(м²·К), F – площадь

поверхности теплообмена, ΔT – разность температур воды и стенок ёмкости. Т.к. $\Delta T = \Delta t$ и по условию задачи $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ и постоянна в процессе теплообмена, то $\Delta T = \Delta t = 8^\circ\text{C} = 8\text{ K}$.

В процессе остывания температура воды в ёмкости снизится на величину $\Delta T_B = T_{B2} - T_{B1} = t_{B2} - t_{B1} = 45 - 80 = -35^\circ\text{C} = 35\text{ K}$ или, беря по модулю $\Delta T_B = \Delta t_B = 35\text{ K}$.

Переданная стенкам теплота Q с другой стороны определяется выражением

$$Q = m \cdot c_m \cdot \Delta T_B,$$

где m – масса воды, находящейся в ёмкости, которую можно найти по заданному объёму ёмкости $V = 20\text{ л}$ и плотности воды $\rho_B = 1\text{ кг/л}$.

$$m = V \cdot \rho_B = 20 \cdot 1 = 20\text{ кг}.$$

Т.к. по условию задачи перепад температуры ΔT между водой и стенками ёмкости постоянный, а также постоянный коэффициент теплоотдачи α и площадь F цилиндрической поверхности теплообмена, то постоянным является и тепловая мощность q .

Площадь F поверхности теплообмена состоит из боковой поверхности цилиндра и двух оснований и вычисляется по формуле

$$F = 2\pi R h + 2\pi R^2 = \pi D h + 2 \frac{\pi D^2}{4} = \pi D \left(h + \frac{D}{2} \right) = \pi D (h + R),$$

где h – высота цилиндра, R и D – соответственно радиус и диаметр. Т.к. по условию $D = h$, то площадь теплообмена будет равна

$$F = \pi D \left(h + \frac{D}{2} \right) = \pi D \left(D + \frac{D}{2} \right) = \frac{3}{2} \pi D^2.$$

Т.к. диаметр ёмкости не задан, то его можно вычислить через объём V , учитывая, что $D = h$

$$V = \pi R^2 h = \pi \frac{D^2}{4} h = \frac{\pi D^3}{4} \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}.$$

Тогда площадь поверхности теплообмена будет равна

$$F = \frac{3}{2} \pi D^2 = \frac{3}{2} \pi \left(\sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \right)^2 = \frac{3}{2} \pi \left(\frac{4V}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{3}{2} 3,14 \left(\frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{3,14} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,408\text{ м}^2.$$

Тепловая мощность, передаваемая от воды к стенкам ёмкости

$$q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T = 28 \cdot 0,408 \cdot 8 = 91,4\text{ Вт}.$$

Количество тепла, отданного водой стенкам ёмкости, будет равно

$$Q = m \cdot c_m \cdot \Delta T_B = 20 \cdot 4,2 \cdot 35 = 2940\text{ кДж}.$$

Т.к. тепловая мощность постоянная, то тепло, передаваемое стенкам ёмкости, является линейной функцией времени. Отсюда легко определить время остывания воды от 80°C до 45°C

$$Q = q \cdot t \Rightarrow t = \frac{Q}{q} = \frac{2940 \cdot 10^3}{91,4} = 32166\text{ с}.$$

От 80°C до 45°C вода остынет за 32166 с (536,1 мин или 8,935 ч), за это время стенкам ёмкости от воды будет передано 2940 кДж тепла.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Через плоскую однородную стенку толщиной 50 мм, не содержащую внутренних источников тепла, проходит стационарный тепловой поток. Определить градиент температуры в стенке, если разность температур на границах стенки равна 120°C .

Ответ (решение): решение уравнения теплопроводности Фурье для плоской однородной стенки при стационарном тепловом потоке даёт линейную зависимость распределения температуры по толщине стенки. Исходя из этого, искомый градиент температуры определяется выражением

$$\text{grad } t = -\frac{dt}{dx} = -\frac{\Delta t}{\Delta x} = -\frac{\Delta t}{\delta} = -\frac{120}{50} = -2,4 \text{ град/мм},$$

где знак «—» указывает о убывании температуры в направлении распространения теплового потока, если выбранное направление оси X совпадает с направлением распространения теплового потока. Т.к. изменение температуры по шкале Кельвина и Цельсия равны $\Delta T = \Delta t$, то размерность градиента температуры взята обобщённо [град/мм].

Градиент температуры в плоской стенке составляет $-2,4$ град/мм.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Найти массу воды, испарившейся с круглой поверхности зеркала испарителя за 3 часа, если коэффициент испарения μ [кг/(м²·ч)] изменяется по закону

$$\mu = 5t \cdot e^{-0,7t^2}.$$

Диаметр поверхности испарения $D = 2$ м.

Ответ (решение): под коэффициентом испарения μ , как видно из его размерности, в данной задаче понимается масса воды (кг), испарившаяся с 1 м² площади зеркала испарения за единицу времени, в данном случае единицей времени выбран 1 час. Т.к. μ является функцией времени, то за время dt с 1 м² площади поверхности испарится $\mu(t) \cdot dt$ кг воды. Со всей площади поверхности F испарится $\mu(t) \cdot F \cdot dt$ кг воды. Поскольку по всей поверхности зеркала испарения $\mu(t)$ постоянная величина, т.е. μ не зависит от координат, а зависит только от времени, то приходим к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка

$$dm = \mu(t) \cdot F \cdot dt = 5t \cdot e^{-0,7t^2} \cdot F \cdot dt,$$

где площадь зеркала F равна

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2.$$

Тогда

$$dm = 5 \cdot t \cdot e^{-0,7t^2} \cdot 3,14 dt = 15,7t \cdot e^{-0,7t^2} dt.$$

Интегрируя данное уравнение по времени с учётом единицы измерения аргумента в часах, получаем искомую массу испарившейся воды

$$m = \int_0^{t_K} 15,7t \cdot e^{-0,7t^2} dt = 15,7 \int_0^{t_K} t \cdot e^{-0,7t^2} dt,$$

где $t_K = 3$ часа — время испарения воды. Данный интеграл можно легко взять методом внесения переменной под знак дифференциала

$$\begin{aligned} m &= 15,7 \cdot \int_0^3 e^{-0,7t^2} t dt = 15,7 \cdot \int_0^3 e^{-0,7t^2} d\left(\frac{t^2}{2}\right) = \frac{15,7}{-0,7 \cdot 2} \cdot \int_0^3 e^{-0,7t^2} d(-0,7t^2) = -11,2 \cdot e^{-0,7t^2} \Big|_0^3 = \\ &= -11,2 \cdot (e^{-0,7 \cdot 3^2} - e^{-0,7 \cdot 0^2}) = -11,2 \cdot (e^{-6,3} - e^0) = -11,2 \cdot (e^{-6,3} - 1) = 11,18 \text{ кг}. \end{aligned}$$

За три часа с зеркала испарителя испарится 11,18 кг воды.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить линейную плотность теплового потока, проходящего через однородную цилиндрическую трубу внутренним диаметром $d = 35$ мм и наружным диаметром $D = 40$ мм при стационарном тепловом режиме, если разность температур между внутренней и наружной поверхностью стенок составляет 40°C , а коэффициент теплопроводности материала трубы λ равен 43 Вт/(м·K) .

Ответ (решение): решение дифференциального уравнения теплопроводности для однородной цилиндрической стенки при стационарном режиме теплопроводности даёт логарифмический закон распределения температуры по радиусу трубы. Выражение для искомой линейной плотности теплового потока имеет вид

$$q_l = \frac{Q}{l} = \frac{\pi(t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot \Delta T_w}{\ln \frac{D}{d}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 43 \cdot 40}{\ln \frac{40}{35}} = 80892 \text{ Вт/м},$$

где Q – тепловой поток через трубу, l – длина трубы, t_{w1} , t_{w2} и ΔT_w – температура внутренней и внешней границ стенки трубы и перепад температуры между ними соответственно. Т.к. в данной задаче не оговорено конкретные значения t_{w1} , t_{w2} , а указан только перепад температуры $\Delta T_w = \Delta t_w = 40^\circ\text{C} = 40 \text{ K}$, то направление теплового потока в данном случае не имеет значения; требуется определить его величину.

Т.к. в знаменателе под логарифмом стоит отношение наружного и внутреннего диаметров цилиндрической стенки, то нет необходимости их перевода в метры: достаточно подставить их в одинаковой размерности, например, в заданной в задании – в миллиметрах.

Линейная плотность теплового потока через цилиндрическую стенку равна 80892 Вт/м.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

В цилиндрической трубе круглого сечения внутренним диаметром $d = 70 \text{ мм}$ движется поток воздуха с объёмным расходом 7 л/с при температуре 50°C . Определить коэффициент теплоотдачи, если критериальное уравнение для воздуха имеет вид

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8},$$

численные значения физических параметров воздуха при температуре 50°C : кинематическая вязкость $\nu = 17,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Ответ (решение): коэффициент теплоотдачи определяется из выражения числа Нуссельта по формуле

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_0}{\lambda},$$

где l_0 – характерный линейный размер течения, для круглой трубы таким размером является диаметр: $l_0 = d$. Тогда выражение для критерия подобия Нуссельта имеет вид

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \Rightarrow \alpha = Nu \frac{\lambda}{d}.$$

Число Nu связано с числом Рейнольдса представленным критериальным уравнением. Число Рейнольдса по определению выражается формулой

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu},$$

где w – средняя по сечению скорость потока воздуха, которая определяется из выражения объёмного расхода воздуха W через площадь поперечного сечения потока F

$$W = w \cdot F \Rightarrow w = \frac{W}{F} = \frac{4W}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 70^2 \cdot 10^{-6}} = 1,82 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса потока воздуха в трубе

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{1,82 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{17,95 \cdot 10^{-6}} = 7097.$$

Число Нуссельта

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} = 0,018 \cdot 7097^{0,8} = 21,68.$$

Искомый коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 21,68 \frac{2,83 \cdot 10^{-2}}{70 \cdot 10^{-3}} = 8,76 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Коэффициент теплоотдачи равен 8,76 Вт/(м²·К).

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 2

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	235	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	145	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	15	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	1245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	43521	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	15243	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	25431	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	53142	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A5B3B1Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A1B4B5Г3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A4B1B5Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	От 80°С до 45°С вода остынет за 32166 с (536,1 мин или 8,935 ч), за это время стенкам ёмкости от воды будет передано 2940 кДж тепла.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Градиент температуры в плоской стенке составляет –2,4 град/мм.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	За три часа с зеркала испарителя испарится 11,18 кг воды.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Линейная плотность теплового потока через цилиндрическую стенку равна 80892 Вт/м.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Коэффициент теплоотдачи равен 8,76 Вт/(м ² ·К).	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна

		ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
--	--	--

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

Оценочные средства по дисциплине «Тепломассообмен»

Вопросы при защите практической работы (базовый уровень):

1. Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия. 2. Классификация теплоиспользующих установок по назначению: выпарные и кристаллизационные, сушильные, перегонные, ректификационные, абсорбционные. 3. Что такое теплоноситель? Какие из теплоносителей принято относить к высоко-, средне- и низкотемпературным? 4. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Перечислить теплофизические свойства теплоносителей, дать им характеристику. 5. Вода, пар, воздух и дымовые газы. Область их применения, сравнительная характеристика и теплофизические свойства. 6. Дать характеристику основным видам теплообмена и режимам движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. 7. Назначение и область применения рекуперативных теплообменников, их классификация. 8. Схема и принцип работы многоходового кожухотрубного теплообменника, достоинства и недостатки. 9. Уравнение теплового баланса теплообменного аппарата, с фазовым переходом теплоносителей и без него. 10. Основные уравнения для расчета теплообменных аппаратов различных конструкций? 11. Виды расчетов теплообменников. Дать характеристику каждому из них. 12. Методы интенсификации теплообмена. 13. Область применения регенеративных теплообменников. Достоинства и недостатки. 14. Принцип действия, область применения смесительных теплообменников. 15. Газожидкостные смесительные теплообменники: каскадные, барботажные, полые с разбрызгиванием, струйные (скрубберы). 16. Принцип действия, область применения и классификация градилен. 17. hd-диаграмма влажного воздуха. Процесс сушки влажных материалов. 18. Материальный и тепловой баланс процесса сушки. 19. Кинетика сушки. 20. Периоды сушки. 21. Процесс выпаривания. Технические способы выпаривания растворов. 22. Материальный баланс процесса выпаривания. 23. Назначение и принцип действия выпарных установок, их классификация. 24. Процессы перегонки и ректификации. Определения. 25. Какие методы разделения смесей применяют при ректификации? 26. Материальный и тепловой баланс ректификационной колонны. 27. Процессы абсорбции и адсорбции. 28. Материальный баланс процесса абсорбции. 29. Область применения и конструкции абсорбционных установок.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству практическая работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Практическая работа выполнена на высоком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 75-100 %, соответствуют правильному решению на 90-100 % вопросов/задач)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
4	Практическая работа выполнена на среднем уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 50-75 %, соответствуют правильному решению на 75-89 % вопросов/задач)
3	Практическая работа выполнена на низком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно 40-50 %, соответствуют правильному решению на 50-74 % вопросов/задач)
2	Практическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически неправильно, соответствуют правильному решению менее чем на 50 %)

Вопросы при защите лабораторных работ (базовый уровень):

1. Что называется теплоемкостью?
2. Что называется удельной теплоемкостью?
3. Что такое средняя теплоемкость?
4. Что такое истинная теплоемкость и какова ее связь со средней теплоемкостью?
5. Как определяется показатель адиабаты газа?
6. В чем отличие изобарной и изохорной теплоемкостей?
7. Написать формулу Майера и объяснить физический смысл описываемой ею закономерности.
8. Объяснить устройство лабораторной установки.
9. Объяснить суть калориметрического метода определения теплоемкости. Дайте определение процесса теплопроводности.
10. Объясните механизм процесса теплопроводности в различных средах.
11. Что является движущей силой процесса теплопроводности?
12. Температурное поле, его определение. Стационарное и нестационарное температурное поле.
13. Температурный градиент, его определение и единицы измерения.
14. Что такое тепловой поток и удельный тепловой поток? Единицы измерения.
15. Закон Фурье, его формулировка и математическая запись.
16. Что представляет собой коэффициент теплопроводности и как выражается его физический смысл?
17. Укажите порядок величины коэффициента теплопроводности для металлов, диэлектриков и газов.
18. Как влияют на величину коэффициента теплопроводности пористость и влажность материалов?
19. Как зависит коэффициент теплопроводности различных материалов от температуры?
20. Выведите зависимость для расчета теплового потока через плоскую однородную стенку и через цилиндрическую стенку.
21. Что такое термическое сопротивление стенки?
22. Как изменится тепловой поток с увеличением толщины стенки?
23. Объясните сущность метода трубы.
24. Объясните принцип работы лабораторной установки и порядок выполнения работы.
25. Дать определение влажного воздуха.
26. Дать определение абсолютной, относительной влажности и влаго-содержания.
27. Рассказать методику определения относительной влажности воздуха.
28. Как вычисляется расход сухого воздуха через установку?

29. Как определяется расход влажного атмосферного воздуха?
30. Как рассчитывается производительность сушильной установки по влаге?
31. Представить и объяснить теоретический и действительный процессы сушки на $h-d$ - диаграмме влажного воздуха.
32. Как изображается на $h-d$ -диаграмме процесс нагрева воздуха в калорифере?
33. Что такое поток газа и какими параметрами он характеризуется?
34. В чем принципиальное различие между соплом и диффузором?
35. Изобразите графически изменение по длине сопла значений скорости газа, его давления и температуры.
36. Объясните, что такое критическая скорость и критическое давление.
37. Почему действительный расход газа отличается от теоретического?
38. Как вычисляется действительный расход воздуха?
39. Как вычисляется теоретический расход воздуха при дозвуковом истечении?
40. Объясните характер полученных графических зависимостей $G = f(\beta)$.

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к лабораторным работам по дисциплине "Теплотехника" [Электронный ресурс]: для студентов всех специальностей / Сост.: Н.Г. Банников, Ю.А.Куликов, Н.А.Толкачев. - Луганск: Изд-во ВЛУ им. Даля, 2013.- 53 с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству лабораторная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Лабораторная работа выполнена на высоком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Лабораторная работа выполнена на среднем уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Лабораторная работа выполнена на низком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Лабораторная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны менее чем на 50 %)

Комплект заданий к контрольной работе:

Вариант 1

(базовый уровень)

1. Предмет и метод теоретических основ тепломассообмена.
2. Термодинамические параметры состояния.
3. Основы теории подобия.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 320 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 25°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 2

1. Составляющие процессы теплопередачи.
2. Уравнение состояния для газовых смесей.
3. Внутренняя энергия рабочего тела.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 750 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 14°C и -19°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,8 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 3

1. Дайте определение коэффициенту теплопроводности.
2. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
3. Приведите примеры энтропии.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 153 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,8 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 4

1. Энтропия.
2. Условия подобия на примере дифференциального уравнения теплоотдачи.
3. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 258 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,54 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 5

1. Первый закон термодинамики.
2. Основы теории подобия.
3. Что называется конвективным теплообменом? Приведите примеры.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 550 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 6

1. Моделирование на основе теории подобия.
2. Работа и теплота в термодинамическом процессе.
3. Сложный теплообмен. Приведите примеры.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 750 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $2,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 7

1. Назовите основные типы термодинамики. Где они применяются?
2. Уравнения состояния для реальных газов.
3. Теплопроводность на примере плоской стенки.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 628 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 0°C и -18°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 8

1. Процессы получения водяного пара в P-V – координатах.
2. Теплопроводность через многослойную стенку.
3. Как определить потерю теплоты путем конвекции?

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 350 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 9

1. Пути интенсификации теплопередачи на примере теплопередачи через плоскую стенку.
2. Влажный воздух.
3. Тепломассообмен влажного воздуха различных термодинамических состояний.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 650 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -15°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,5 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 10

1. Какие рабочие диапазоны температур различных термодинамики?
2. Термодинамический анализ изобарного процесса образования насыщенного пара.
3. Теплопроводность. Закон Фурье.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 365 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 15°C и -15°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 11

1. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона - Рихмана.
2. Энтропия.
3. Температурное поле в теле (веществе) и температурный градиент.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 265 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 10°C и -18°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 12

1. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.
3. Режимы движения теплоносителя.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 285 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 13

1. Геотермальные воды – возможный источник утилизации тепла.
2. Числа подобия массообмена. Критическое уравнение массообмена.
3. Уравнение теплового баланса.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 550 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 13°C и -17°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 14

1. Дифференциальное уравнение массоотдачи на границе раздела фаз. Вещества.
2. H-d диаграмма влажного воздуха.
3. Элементарные виды теплообмена. Общий вид уравнения теплопередачи.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 450 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 15

1. Уравнение массоотдачи.
2. Теплоотдача при естественной конвекции в ограниченном объеме.
3. Температурное поле и температурный градиент. Закон Фурье.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 155 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 19°C и -18°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 16

1. Второй закон термодинамики и его формулировки.
2. Основные числа и критерии подобия конвективного теплообмена.
3. Теплопроводность плоской стенки. Коэффициент теплопроводности.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 255 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 12°C и -19°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 17

1. Реальные рабочие тела. Фазовые переходы. Диаграмма p-t.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.
3. Теплопроводность плоской стенки.

(повышенный уровень)Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 150 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 18

1. Теплообмен при кипении жидкости.

2. Графический метод расчета паровых процессов H-S (I-S) диаграмма.
3. Теплопередача при омывании плиты (пластины).

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 370 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 15°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 19

1. Теплопередача при конденсации пара.
2. Общий вид критериального уравнения теплоотдачи. Определяющие и определяемые критерии.
3. Закон массообмена Фике.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 250 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 20

1. Цикл Карно. Его значение
2. Теплоотдача при свободной конвекции в неограниченном пространстве.
3. Графический метод расчета паровых процессов.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 380 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 18°C и -18°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 21

1. Обработка результатов экспериментальных исследований с использованием теории подобия.
2. Режимы движения теплоносителя.
3. Паровые смеси. Влажный воздух.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 350 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 16°C и -16°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 22

1. Лучистый теплообмен. Закон Стефана-Больцмана.
Учет лучистого теплообмена в расчетах
2. Принцип работы парового котла. T-S диаграмма водяного пара.
3. Общий вид критериального уравнения теплоотдачи. Определяющие и определяемые критерии.

(повышенный уровень) Задача. Определить удельный тепловой поток через бетонную стену толщиной 300 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхности соответственно 15°C и -15°C . Коэффициент теплопроводности бетона $1,0 \text{ Вт/м К}$.

Вариант 23

1. Теплообменные аппараты. Их классификация.
2. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубе.
3. Цикл компрессорной холодильной машины.

(повышенный уровень) Задача. Через плоскую металлическую стенку топки котла толщиной 14 мм от газов к кипящей воде проходит удельный тепловой поток 25000 Вт/м^2 , коэффициент теплопроводности стали 50 Вт/м К . Определить перепад температуры на поверхности стенки.

Вариант 24

1. Основы работы теплообменных аппаратов.
2. Сложный теплообмен.
3. Основные схемы течения теплоносителей в теплообменных аппаратах.

(повышенный уровень) Задача. Определить коэффициент теплопроводности кирпичной стенки печи толщиной 380 мм, если температура на внутренней поверхности стенки 300°C и на наружной 60°C . Потери теплоты через стенку 190 Вт/м^2 .

ТЕСТ (базовый уровень)

1. Что называется теплоотдачей?

А) конвективный теплообмен между движущейся средой и поверхностью (стенкой)

В) процесс передачи тепловой энергии от более горячего тела к менее горячему, либо непосредственно (при контакте), либо через посредника (проводника) или разделяющую перегородку (тела или среды) из какого-либо материала

С) тепловыделение при работе электрического тока

ANSWER: А

2. Конвективным теплообменом называют процесс переноса теплоты

А) происходящий в движущихся текучих средах (жидкостях либо газах) и обусловленный совместным действием двух механизмов переноса тепла — собственно конвективного переноса и теплопроводности._

В) происходящий в стоячих средах (жидкостях либо газах) и обусловленный совместным действием двух механизмов переноса тепла — собственно конвективного переноса и теплоотдачи

С) происходящий в металлах и обусловленный совместным действием двух механизмов переноса тепла — собственно конвективного переноса и _теплопроводности._

ANSWER: А

3. Единицы измерения $q_{ст}$ — плотности теплового потока на поверхности

А) $Вт/м^2$

В) $Вт/м^3$

С) $Вт/м^4$

ANSWER: А

4. Коэффициент теплоотдачи, измеряется в ...

А) $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$

В) $Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$

С) $Вт/(м^5 \cdot ^\circ C)$

ANSWER: А

5. При _турбулентном течении_ основную роль в процессе переноса тепла поперек потока играет пульсационное перемещение турбулентных вихрей поперек течения жидкости.

А) да, так и есть

В) нет, все наоборот

ANSWER: А

6. Подобия теория, учение об условиях подобия физических явлений, опирается на учение о размерностях физических величин и служит основой физического моделирования_. Правильно ли утверждение?_

А) правильно

В) не верно

ANSWER: А

7. Критерий нуссельта - это

А) один из основных КРИТЕРИЕВ подобия тепловых процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях неподвижной среды). Названо в честь немецкого инженера Вильгельма НУССЕЛЬТА.

В) один из основных КРИТЕРИЕВ подобия магнитных процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях неподвижной среды).

С) один из основных КРИТЕРИЕВ подобия химических процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях неподвижной среды).

ANSWER: А

8. Теория подобия изучает методы построения и применения этих переменных и ПРИМЕНЯЕТСЯ в тех СЛУЧАЯХ математического моделирования, когда аналитическое решение математических задач моделирования невозможно из-за сложности и требований к точности.

А) правильно

В) не верно

ANSWER: A

9. Критерий Нуссельта (Nu) - это

А) один из основных критериев подобия тепловых процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях неподвижной среды). Названо в честь немецкого инженера Вильгельма Нуссельта

В) один из основных критериев подобия тепловых процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплопередачи за счёт конвекции и интенсивностью теплообмена за счёт теплопроводности (в условиях подвижной среды).

С) критерия подобия площади

ANSWER: A

10. Теплотехника (нем. Wärmetechnik) — это

А) общетехническая дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования воды и пара, а также принцип действия и конструктивные особенности тепло- и парогенераторов тепловых машин, агрегатов и устройств.

В) общетехническая дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принцип действия и конструктивные особенности тепло- и парогенераторов тепловых машин, агрегатов и устройств.

С) общетехническая дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования водорода и гелия, а также принцип действия и конструктивные особенности тепло- и парогенераторов тепловых машин, агрегатов и устройств.

ANSWER: B

11. Коэффициент излучения (или степень черноты) - ϵ показывает

А) отношение энергии теплового излучения 'серого тела' согласно Закону Стефана Больцмана, к излучению 'абсолютно черного тела' при той же температуре.

В) отношение энтропии теплового излучения 'серого кирпича' согласно Закону Стефана Больцмана, к излучению 'абсолютно черного тела' при той же температуре.

С) интенсивность поглощения энергии

Д) интенсивность нагрева тела

ANSWER: A

12. Что такое теплопередача?

А) процесс передачи тепловой энергии от более горячего тела к менее горячему, либо непосредственно (при контакте), либо через посредника (проводника) или разделяющую перегородку (тела или среды) из какого-либо материала

В) тепловыделение при работе электрического тока

С) тепловыделение при ядерных реакциях

ANSWER: A

13. Критерий нуссельта является

А) критерием теплового подобия

В) критерием гидродинамического подобия

С) критерием диффузионного подобия

Д) критерием нагрева тела

ANSWER: A

14. Теплопроводность —

А) способность материальных тел проводить тепловую энергию от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела путём хаотического движения частиц тела (атомов, молекул, электронов и т. п.).

В) способность материальных тел не проводить ядерную энергию от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела путём хаотического движения частиц тела (атомов, молекул, электронов и т. п.).

С) способность материальных тел проводить магнитную энергию от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела путём хаотического движения частиц тела (атомов, молекул, электронов и т. п.).

ANSWER: A

15. Конвекция (от лат. *Convectiō* — «перенесение») —

А) вид теплообмена (теплопередачи), при котором внутренняя энергия передаётся струями и потоками самого вещества.

В) вид теплообмена (теплопередачи), при котором внешняя энергия передаётся пучками вещества.

С) вид, при котором внутренняя энергия передаётся ведрами и кружками самого вещества.

ANSWER: A

16. Тепловое излучение —

А) электромагнитные волны, испускаемые телами за счёт их внутренней энергии

В) электромагнитные струйки, испускаемые телами за счёт их внешней энергии

С) все виды волн, испускаемые телами

ANSWER: A

17. Коэффициент теплопередачи показывает,

А) какое количество теплоты переходит в единицу времени от более нагретого к менее нагретому теплоносителю через 1 м² теплообменной поверхности при разности температур между теплоносителями в 1 градус.

В) какое количество энергии переходит в единицу времени от более холодного к менее нагретому теплоносителю через 1 м² теплообменной поверхности при разности температур между теплоносителями в 1 градус.

С) какое количество энтальпии переходит в единицу времени от более нагретого к менее нагретому теплоносителю через 1 м² теплообменной поверхности при разности температур между теплоносителями в 1 градус.

ANSWER: A

18. Единицей измерения теплопроводности материалов является

А) Вт/(м·К)

В) Вт/(м²·К)

С) Вт/(м³·К)

ANSWER: A

19. Теплоемкость идеального газа зависит от

А) Температуры

В) Давления

С) Объема

Д) Температуры и давления

Е) Температуры и объема

ANSWER: A

20. Термический КПД термодинамического цикла это

А) Отношение работы цикла к подведенной теплоте

В) Отношение работы цикла к отведенной теплоте

С) Разность подведенной теплоты и работы цикла

Д) Произведение работы цикла и подведенной теплоты

Е) Отношение подведенной теплоты к отведенной

ANSWER: A

21. Процесс дросселирования идеального газа характеризуется

А) Возрастанием энтропии потока

В) Снижением скорости потока и возрастанием температуры

С) Снижением плотности газа при постоянстве энтропии

Д) Уменьшением энтальпии

Е) Увеличением энтальпии

ANSWER: A

22. Как изменится температура реального газа после дросселирования, если до дросселирования температура газа была выше температуры инверсии при заданном давлении?

- A) Увеличится
- B) Не изменится
- C) Уменьшится
- D) Уменьшится и затем возрастет
- E) Возрастет и затем уменьшится

ANSWER: A

23. Какой термодинамический цикл является эталонным с точки зрения максимально возможного КПД?

- A) Цикл Карно
- B) Цикл Эриксона
- C) Цикл Отто
- D) Цикл Тринклера-Сабатэ
- E) Цикл Ренкина

ANSWER: A

24. Цикл Карно состоит из

- A) Двух адиабат и двух изотерм
- B) Двух адиабат, изохоры и изотермы
- C) Двух изотерм, адиабаты и изобары
- D) Двух изотерм и двух изобар
- E) Изотермы, двух изохор и адиабаты

ANSWER: A

25. От чего зависит критическое отношение давлений при адиабатном истечении идеального газа через суживающееся сопло?

- A) Показателя адиабаты газа
- B) Температуры газа
- C) Давления в выходном срезе сопла
- D) Скорости потока во входном срезе сопла
- E) Изобарной теплоемкости газа

ANSWER: A

26. Сумма внутренней энергии системы и произведения её объёма и абсолютного давления называется

- A) Энтальпия
- B) Энтропия
- C) Эксергия
- D) Анергия
- E) Свободная энергия Гельмгольца

ANSWER: A

27. В каком процессе газ не совершает работы?

- A) Изохорном
- B) Изобарном
- C) Изотермическом
- D) Адиабатном
- E) Политропном

ANSWER: A

28. В каком процессе теплоемкость газа постоянна по определению?

- A) Политропном
- B) адиабатном
- C) изохорном
- D) изобарном
- E) изотермическом

ANSWER: A

29. Отношение изобарной к изохорной теплоемкости называется

- A) Показатель политропы
- B) Показатель адиабаты
- C) Универсальная газовая постоянная
- D) Коэффициент потерь энергии
- E) Адиабатный КПД

ANSWER: B

30. В модели идеального газа

- A) Силы межмолекулярного притяжения и собственный объем молекул равен нулю
- B) Отсутствуют силы межмолекулярного притяжения
- C) Скорость молекул равна нулю
- D) Кинематическая вязкость постоянна
- E) Давление пропорционально квадрату температуры

ANSWER: A

31. Отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха называется

- A) Влагосодержание
- B) Относительная влажность
- C) Абсолютная влажность
- D) Степень сухости
- E) Парциальное давление водяного пара

ANSWER: A

32. В изохорном процессе

- A) Объем газа постоянный
- B) Температура газа постоянна
- C) Температура газа экспоненциально зависит от давления
- D) Давление линейно зависит от удельного объема
- E) Теплоемкость газа равна нулю

ANSWER: A

33. Каков физический смысл характеристической газовой постоянной идеального газа?

- A) Работа 1 кг газа при изобарном нагреве на 1 оС
- B) Теплоемкость 1 кг газа при изохорном нагреве на 1 оС
- C) Работа 1 кмоль газа при изобарном нагреве на 1 оС
- D) Работа 1 кг газа при изотермическом расширении на 1 м³
- E) Изменение энтальпии газа при изобарном нагреве на 1 оС

ANSWER: A

34. В каком процессе изменение энтропии равно нулю

- A) Адиабатном
- B) Изохорном
- C) Политропном
- D) Изобарном
- E) Изотермическом

ANSWER: A

35. В каком процессе газ совершает работу за счет убыли внутренней энергии?

- A) Адиабатном
- B) Изотермическом
- C) Изобарном
- D) Политропном
- E) Изохорном

ANSWER: A

36. При адиабатном критическом истечении идеального газа через суживающееся сопло

- A) В выходном срезе сопла устанавливается скорость потока, равная местной скорости звука
- B) Скорость потока превосходит местную скорость звука в любом сечении сопла
- C) Температура газа не изменяется вдоль сопла

- D) Градиент давления вдоль оси сопла изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от центра входного среза сопла до рассматриваемой точки, лежащей на оси сопла
 E) Число Маха во входном срезе сопла равно 1

ANSWER: A

37. При адиабатном истечении идеального газа через суживающееся сопло на докритическом режиме

- A) Скорость потока зависит от отношения давлений в выходном и входном срезах сопла
 B) Скорость потока в любом поперечном сечении сопла одинаковая
 C) Энтальпия потока постоянна вдоль оси сопла
 D) Температура потока возрастает вдоль оси сопла
 E) Теплоемкость потока убывает вдоль оси сопла по гиперболе

ANSWER: A

38. Процесс дросселирования идеального газа сопровождается

- A) Постоянством температуры газа
 B) Увеличением энтальпии газа
 C) Возрастанием температуры
 D) Уменьшением температуры
 E) Увеличением давления потока

ANSWER: A

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50 %)

Индивидуальное задание (высокий уровень):

Расчет теплообменного аппарата

№	Греющий теплоноситель	Нагреваемый теплоноситель	d ₁ /d ₂ , мм	t ₁ ¹ , °C	G ₁ , Кг/ч	t ₂ ¹⁰ , °C	t ₂ ¹¹ , °C	D, мм	G ₂ , Кг/ч	L, м	λс,
1	вода	вода	35/31	90	2600	10	45	50	3600	0,8	84
2	вода	вода	30/24	95	1600	15	27	60	7600	0,78	84
3	вода	вода	38/33	85	3000	20	50	57		0,75	84
4	вода	вода	40/36	100	3600	12	55	64	7000	0,8	84
5	вода	вода	26/22	80	1350	18	38	48	4300	0,6	84
6	вода	вода	38/33	40	3200	20	50	64	7500	0,8	84
7	вода	вода	35/61	115	2500	15	55	50	3500	0,9	84
8	вода	вода	32/38	95	2170	22	45	57	6300	0,75	84
9	вода	вода	28/22	100	1800	25	50	48	4100	0,6	84
10	вода	вода	30/26	105	1900	18	40	60	7500	0,6	84
11	масло	вода	32/28	85	2050	10	20	57	3200	0,6	0,4

12	масло	вода	38/33	90	2800	20	45	64	3700	0,65	0,4
13	масло	вода	28/22	95	1400	15	35	48	2200	0,7	0,4
14	масло	вода	35/13	100	2700	18	48	60	3350	0,8	0,4
15	масло	вода	40/26	105	3500	28	55	50	1300	0,8	0,4
16	масло	вода	30/24	100	1500	15	50	98	2200	0,7	0,4
17	масло	вода	32/28	115	2000	20	45	57	3000	0,6	0,4
18	масло	вода	28/22	105	1400	18	40	50	2500	0,7	0,4
19	масло	вода	38/33	100	2800	16	45	60	3100	0,8	0,4
20	масло	вода	35/31	95	2700	25	40	64	4000	0,75	0,4
21	воздух	вода	28/22	95	700	20	22,5	50	5000	0,6	85
22	воздух	вода	30/24	85	800	15	17,5	57	5700	0,65	85
23	воздух	вода	35/31	100	1300	25	27,5	60	6500	0,75	85
24	воздух	вода	38/33	90	1500	18	20,2	64	7500	0,8	85
25	воздух	вода	40/36	105	1800	22	35	48	2000	0,85	85
26	воздух	вода	32/28	100	1100	20	23	64	8500	0,8	85
27	воздух	вода	30/24	100	850	25	28,5	50	4600	0,6	85
28	воздух	вода	38/33	80	1600	15	18,5	60	6300	0,9	85
29	воздух	вода	28/22	105	750	20	23,5	48	4500	0,65	85
30	воздух	вода	35/31	90	1400	12	15,3	57	5750	0,55	85

Вопросы при защите индивидуального задания (пороговый уровень):

1. Что называется теплообменным аппаратом?
2. На какие типы делятся теплообменные аппараты по способу передачи теплоты и по принципу действия?
3. Какие уравнения используются в основе расчета теплообменного аппарата?
4. Каков закон изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена?
5. Зависит ли характер изменения температуры теплоносителей от схемы их течения?
6. Какие данные входят в исходные условия расчета теплообменного аппарата (конструктивного и поверочного)?
7. Каковы основные факторы, повышающие коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата?
8. Как определить средний логарифмический температурный напор теплоносителей при прямоточной, противоточной и перекрестной схемах их течения в теплообменном аппарате?
9. В каких случаях можно воспользоваться при проведении расчета средним арифметическим значением температурного напора теплоносителей?
10. Почему задача определения рациональной компоновки поверхности теплообмена является сложной экономической задачей?
11. Какова последовательность теплового расчета?
12. В каких моментах расчета необходимо применять метод последовательного приближения и почему?
13. На каком языке написана программа расчета теплообменного аппарата и где она находится?
14. Какие исходные данные требуются для выполнения программы и их физический смысл?
15. Какие результаты расчетов выводятся на печать?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству индивидуальное задание

Шкала оценивания	Критерий оценивания
5	Задание представлено на высоком уровне (студент полностью представил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений,

	владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста полностью соответствует требованиям оформления технического текста
4	Задание представлено на среднем уровне (студент в целом изложил рассматриваемую проблематику, привел мало аргументов в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). Изложение и оформление текста в основном соответствует требованиям оформления технического текста
3	Задание представлено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста частично соответствует требованиям оформления технического текста
2	Задание представлено на неудовлетворительном уровне или не представлено (студент не готов, не выполнил задание и т.п.). Изложение и оформление текста полностью не соответствует требованиям оформлению технического текста

Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет):

1. Физические принципы переноса теплоты. Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность. Основные понятия, определения и законы переноса теплоты.

2. Виды процессов теплообмена. Теплопроводность однослойной и многослойной плоских стенок. Теплопроводность цилиндрических стенок. Теплопроводность тел сложной формы. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты. Условия нестационарного режима теплопроводности.

3. Охлаждение (нагревание) тел различной формы. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме теплообмена. Теоремы Кондратьева.

4. Конвективный теплообмен. Особенности конвективного теплообмена. Уравнение конвективного теплообмена. Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции, при ламинарном и турбулентном движении среды. Методы определения коэффициента теплоотдачи. Условия подобия процессов теплообмена. Критериальные уравнения конвективного теплообмена.

5. Теплообмен излучением. Особенности теплообмена излучением. Основные понятия и определения. Основные законы излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Теплообмен излучением в газах.

6. Сложный теплообмен. Виды сложного теплообмена при излучении и теплопроводности – радиационно-кондуктивный теплообмен. Теплообмен при излучении и конвекции – радиационно-конвективный теплообмен.

7. Теплопередача. Основы массопереноса. Уравнения переноса энергии и массы. Молярная диффузия. Теплообмен в условиях массопереноса. Явления тепломассопереноса в капиллярно-пористых телах. Теплообмен при фазовых превращениях.

8. Теплообменные аппараты. Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении. Тепломассообмен в двухкомпонентных средах при конденсации и испарении. Классификация теплообменных аппаратов.

9. Схема расчета теплообменных аппаратов и устройств. Расчет рекуперативных теплообменников. Расчет регенераторов.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач	зачтено

Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.	
Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.	не зачтено

9. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК). В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников, например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения – аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной (модулем), за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительность сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;
- продолжительность подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)