



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ
Директор Филиала в г. Белорецк
Д.Р. Хамзина
15.02.2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕПЛОФИЗИКА

Направление подготовки (специальность)
22.03.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы
Обработка металлов и сплавов давлением (метизное производство)

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
заочная

Институт/ факультет	Филиал в г. Белорецк
Кафедра	Металлургии и стандартизации
Курс	2

Магнитогорск
2022 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Metallurgy (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallurgy и стандартизации

10.02.2022, протокол № 5


Зав. кафедрой  С.М. Головизнин

Рабочая программа одобрена методической комиссией Филиал в г. Белорезк

15.02.2022 г. протокол № 4

Председатель  Д.Р. Хамзина

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры МиС, канд. техн. наук  С.М. Головизнин

Рецензент:

•  Л.Э. Пыхов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Металлургии и стандартизации

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.Ю. Усанов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Металлургии и стандартизации

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.Ю. Усанов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Металлургии и стандартизации

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.Ю. Усанов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Металлургии и стандартизации

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.Ю. Усанов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями изучения дисциплины «Теплофизика» являются:

формирование у обучающихся общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 22.03.02 Metallurgy. В связи с этой целью необходимо:

- изучение фундаментальных законов переноса теплоты, современной теории теплообмена и применение их в тепловых расчетах нагрева и охлаждения тел различной формы с различными теплофизическими свойствами.

Теплофизика (тепло- и массоперенос): явления, законы и уравнения переноса вещества, тепла и импульса; тройная аналогия; применение теории подобия при изучении процессов переноса; постановка и решение задач переноса.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Теплофизика входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Математика

Физика

Физическая химия

Химия

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Основы металлургического производства

Металлургическая теплотехника

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Теплофизика» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-2	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических и социальных ограничений
ОПК-2.1	Проводит технико-экономическое обоснование и экономическую оценку проектных решений и инженерных задач
ОПК-2.2	Проводит оценку проектных решений и инженерных задач, в том числе экологическую
ОПК-2.3	Анализирует и оценивает работоспособность предприятия (технических объектов, систем и процессов) с учетом социальных ограничений

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 8,4 академических часов;
- аудиторная – 8 академических часов;
- внеаудиторная – 0,4 академических часов;
- самостоятельная работа – 95,7 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;

– подготовка к зачёту – 3,9 академических часов

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Явления, законы и уравнения переноса вещества, тепла и импульса								
1.1 Виды переноса теплоты и массы: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Постановка и решение задач переноса.	2	1	0,5	0,5		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию.	Устный опрос	
Итого по разделу		1	0,5	0,5				
2. Теплопроводность								
2.1 Механизм переноса теплоты теплопроводностью в газах, жидкостях, металлах и неметаллах. Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности	2	0,5	0,5	0,5		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Устный опрос	
2.2 Теплопроводность при стационарном режиме. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоскую стенку при граничных условиях I и III рода. Расчет потерь теплоты через стены печей. Расчет толщины изоляции.		0,5	0,5	0,5		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Лабораторные работы	

2.3 Теплопроводность при нестационарном режиме. Основные представления о методах решения задач при нестационарной теплопроводности. Теплопроводность бесконечной пластины и цилиндра. Номограммы Д.В. Будрина.		0,5	0,5	0,5		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Лабораторные работы	
Итого по разделу		1,5	1,5	1,5				
3. Конвективный теплообмен								
3.1 Основные положения конвективного теплообмена. Виды конвекции. Режимы движения жидкости. Пограничный слой. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи, энергии, движения, сплошности. Условия однозначности	2	0,5	0,5	0,5		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Лабораторные работы	
3.2 Подobie процессов конвективного теплообмена. Число подобия. Уравнения подобия физических процессов. Теоремы подобия. Применение теории подобия при изучении процессов переноса.		0,5	0,25	0,25		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Устный опрос	
3.3 Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплоотдача при вынужденном продольном обтекании плоской поверхности. Гидродинамический и тепловой пограничные слои, соотношение их толщин. Теплоотдача при ламинарном пограничном и турбулентном пограничном слое.		0,5	0,25	0,25		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Лабораторные работы	
3.4 Конвективный теплообмен при вынужденном и свободном течении жидкости в трубах и каналах. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения.		0,5	0,25	0,25		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Устный опрос	
Итого по разделу		2	1,25	1,25				
4. Радиационный теплообмен								

4.1 Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Виды лучистых потоков. Законы Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Понятие о сером излучении.	2	0,5	0,25	0,25		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Устный опрос	
4.2 Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Теплообмен излучением между телами с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен между телом и охватывающей оболочкой, системы с экранами		0,5	0,25	0,25		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Устный опрос	
4.3 Теплообмен излучением в поглощающей среде. Закон Бугера. Уравнение переноса лучистой энергии. Излучение паров и газов. Понятие о сложном теплообмене. Числа радиационного подобия.		0,5	0,25	0,25		Подготовка к, практическому, лабораторно-практическому занятию	Устный опрос Контрольная работа	
Итого по разделу		1,5	0,75	0,75				
Итого за семестр		6	4	4			зачёт	
Итого по дисциплине		6	4	4			зачет	

5 Образовательные технологии

Учитывая цели изучения дисциплины «Теплофизика» и в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 22.03.02 – Metallургия в преподавании предмета используется традиционная технология обучения, включающая в себя слушание объяснения преподавателя (лекции), работу с учебным материалом, выполнение практических действий (практические занятия). Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Теплофизика» происходит с использованием мультимедийного оборудования. Технология ориентирована на передачу знаний, умений и навыков и обеспечивает усвоение учащимися содержания обучения, проверку и оценку его качества на репродуктивном уровне.

Наряду с традиционной технологией используется модульно-компетентностная технология. Реализация компетентностного подхода осуществляется использованием в учебном процессе следующих методов:

а) ИТ - применение компьютеров для доступа к Интернет-ресурсам, применение обучающих программ с целью расширения информационного поля, повышения скорости обработки и передачи информации, обеспечения удобства преобразования и структурирования информации для трансформации ее в знание (практические занятия, подготовка к контрольному тестированию);

б) контекстного обучения - мотивация студентов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением (лабораторные занятия);

в) работа в команде – совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи синергичным сложением результатов индивидуальной работы членов команды (лабораторные занятия, расчетно-графические работы).

Самостоятельная работа студентов стимулирует студентов к самостоятельной переработке тем в процессе подготовки к сдаче лабораторных работ и решения домашних практических заданий.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Арутюнов, В.А. Теплофизика и теплотехника: Теплофизика: Курс лекций [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Арутюнов, С.А. Крупенников, Г.С. Сборщиков. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2010. — 228 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2083>. — Загл. с экрана.

б) Дополнительная литература:

1. Сборщиков, Г.С. Теплофизика и теплотехника. Теплофизика. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.С. Сборщиков, С.И. Чибизова. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2012. — 104 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51713>. — Загл. с экрана.

2. Мигранова, С. Г. Теплофизика: теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. Г. Мигранова, О. А. Сарапулов ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1284.pdf&show=dcatalogues/1/1123481/>

- Макрообъект.

3. Матвеева, Г. Н. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. Н. Матвеева, Ю. И. Тартаковский, Б. К. Сеничкин. - 2-е изд., подгот. по печ. изд. 2008 г. - Магнитогорск : МГТУ, 2011. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=989.pdf&show=dcatalogues/1/1119153/989.pdf&view=true>. - Макрообъект.

4. Горохов, А. В. Гидродинамика и теплопередача [Электронный ресурс] : практикум / А. В. Горохов ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 59 с. : ил., табл., схемы, граф.. - Режим доступа:

<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3463.pdf&show=dcatalogues/1/1514268/3463.pdf&view=true>. - Макрообъект.

5. Дубровская, Е. Ю. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е. Ю. Дубровская ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа:

<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=14.pdf&show=dcatalogues/1/1123808/14.pdf&view=true>. - Макрообъект.

6. Марков Б.Л., Ткачук И.В. Учебно-справочное пособие по теплопередаче [текст]: - М: Тепло техника, 2008.

7. Ерофеев В.А., Семенов П.Д., Пряхин А.С. Теплотехника [текст]: Учебник для вузов. Под ред. В.А.Ерофеева. - М: ИКЦ Академкника, 2006.

8. Техническая термодинамика и теплотехника [текст]: /Под ред. Захаровой А.А. - М: Изд. центр "Академия", 2008.

9. Теплотехника. [текст]: Учебник для вузов. /Под ред. Луканина В.Н. - М: Высшая школа, 2008

10. Матвеева Г.Н., Тартаковский Ю.И., Сеничкин Б.К. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. [текст]: Учебное пособие. - Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2008.

11. Величко В. И., Цветков Ф. Ф., Керимов Р.В. Задачник по тепломассообмену [текст]: Учеб.пособие для вузов. Изд.2, испр. и доп. Изд. МЭИ, 2008.

12. Брюханов О. Н., Шевченко С. Н. Тепломассообмен. [текст]: Издательство ассоциации строительных вузов, 2005.

13. Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен [текст]: М.: Изд. МЭИ, 2005.

14. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г., Шаврин В.С. Математические методы теплофизики [текст]: Учебник для вузов. - М: Теплотехник, 2005.

15. Ерофеев В.Л., Семенов П.Д., Пряхин А.С. Теплотехника [текст]: Учебник для вузов. / Под ред. Д-ра техн. Наук, проф. В.Л. Ерофеева, - М.: ИКЦ «Академкнига», 2006.

16. Аметистов Е. В. Основы теории теплообмена [текст]: М.: Изд. МЭИ, 2000.

17. Телегин А. С., Швыдкий В. С., Ярошенко Ю. Г. Тепломассоперенос [текст]: Учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп./ Под редакцией Ю.Г. Ярошенко. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2000.

18. Техническая термодинамика и теплотехника [текст]: Учеб. Пособие для вузов / [Л.Т. Бахишева, Б.П. Кондауров, А.А. Захарова, В.С. Салтыкова]; под ред. А.А. Захаровой. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.

в) Методические указания:

1. Теплофизика, теплотехника, теплообмен. Тепломассоперенос. Топливо и огнеупоры. Тепловая работа печей. Лабораторный практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Арутюнов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС,

2007. — 136 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1814>. — Загл. с экрана.

2. Теплофизика, теплотехника, теплообмен. Тепломассоперенос. Топливо и огнеупоры. Тепловая работа печей. Лабораторный практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Арутюнов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2007. — 136 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1814>. — Загл. с экрана.

3. Пинтя, Т. Н. Термодинамика. Теплопередача [Электронный ресурс] : практикум / Т. Н. Пинтя, Ю. И. Тартаковский, Г. Н. Матвеева ; МГТУ. - [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2012 г.]. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=48.pdf&show=dcatalogues/1/1124311/48.pdf&view=true>. - Макрообъект.

4. Пинтя, Т. Н. Термодинамика. Теплопередача [Электронный ресурс] : практикум / Т. Н. Пинтя, Ю. И. Тартаковский, Г. Н. Матвеева ; МГТУ. - Магнитогорск, 2012. - 53 с. : ил., граф., схемы, табл. - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=49.pdf&show=dcatalogues/1/1102500/49.pdf&view=true>. - Макрообъект.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MS Windows 7(Белорецк)	К-171-09 от 18.10.2009	бессрочно
MS Office 2007(Белорецк)	К-171-09 от 18.10.2009	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Наглядные материалы: справочные таблицы, печатный раздаточный материал (задания для контрольных работ); учебники и учебные пособия;

• Наборы наглядных пособий по темам:

2. «Теплофизика. Иллюстративный материал для лекций»

3. «Диффуравнение теплопроводности. Иллюстративный материал для лекций»

4. «Излучение. Иллюстративный материал для лекций»

5. «Конвективный теплообмен. Иллюстративный материал для лекций»

6. «Нестационарный режим. Иллюстративный материал для лекций»

Учебная аудитория для проведения лабораторных работ:

лаборатория теплофизики. Оснащение. Оборудование для выполнения лабораторных работ по темам: "Теплоотдача через одну и многослойные плоские стенки", "Теплоотдача через цилиндрическую однослойную стенку", "Определение коэффициента теплопроводности".

Помещения для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: места для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации

Приложение 1

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Перечень тем для подготовки к практическим занятиям:

1. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты и массы: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Законы Фурье, Ньютона, Фика.
2. Теплопроводность при стационарном режиме. Однослойная и многослойная плоская стенка плоская стенка.
3. Распространение теплоты теплопроводностью в однородной однослойной и многослойной цилиндрической стенке.
4. Теплопроводность при нестационарном режиме. Нестационарные процессы теплопроводности в неограниченной пластине.
5. Нестационарные процессы теплопроводности в цилиндре.
6. Основные положения конвективного тепло-массообмена. Основные понятия и определения. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Пограничный слой.
7. Подобие процессов конвективного теплообмена. Критерии подобия.
8. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Расчетные формулы для теплоотдачи при продольном обтекании пластины. Теплоотдача при движении потока внутри труб (каналов).
9. Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах и каналах. Особенности течения и теплообмена в трубах. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения. Теплоотдача в трубах некруглого сечения, в изогнутых трубах.
10. Теплоотдача при свободном движении жидкости.
11. Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Природа теплового излучения.

Законы Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Понятие о сером излучении.

Вопросы к экзамену

1. Основные сведения из термодинамики. Уравнение состояния. Внутренняя энергия, энтальпия, теплота, работа, теплоемкость. Первый и второй законы термодинамики. Основные уравнения одномерного течения газа: сплошности, импульсов, энергии.
2. Основные сведения из механики газов. Режимы движения жидкости. Движение газов в каналах с низкой скоростью. Равновесие газа. Истечение газа через отверстия. Уравнение Бернулли.
3. Струйное движение газа. Свободная струя. Ограниченные струи.
4. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты и массы: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Тройная аналогия, как выражение общего закона переноса – принципа линейности Онзагера. Дифференциальные условия теплообмена.
5. Теплопроводность. Градиент температур. Механизм переноса теплоты теплопроводностью в газах, жидкостях, металлах и неметаллах. Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности.
6. Теплопроводность при стационарном режиме. Передача теплоты через плоскую стенку при граничных условиях I и III рода. Коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление. Многослойная плоская стенка.
7. Расчет температур в многослойной плоской стенке на стыке слоев. Расчет потерь теплоты через стены печей. Расчет толщины изоляции. Передача теплоты через цилиндрическую стенку при граничных условиях I и III рода. Многослойная цилиндрическая стенка. Критический диаметр изоляции.
8. Теплопроводность при нестационарном режиме. Основные представления о методах решения задач при нестационарной теплопроводности. Теплопроводность бесконечной пластины. Анализ решения для предельных значений числа Био. Номограммы Д.В. Будрина.
9. Теплопроводность цилиндра. Анализ решения. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в нестационарном режиме. Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров. Теорема о перемножении решений. Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел.
10. Основные положения конвективного теплообмена. Виды конвекции. Режимы движения жидкости. Пограничный слой.
11. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи, энергии, движения, сплошности. Условия однозначности.
12. Подобие процессов конвективного теплообмена. Приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Число подобия. Уравнения подобия. Условия подобия физических процессов. Теоремы подобия. Обобщение опытных данных и получение эмпирических уравнений.
13. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплоотдача при вынужденном продольном обтекании плоской поверхности. Гидродинамический и тепловой пограничные слои, соотношение их толщин. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое. Струйное охлаждение
14. Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах и каналах. Особенности течения и теплообмена в трубах. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения. Теплоотдача в трубах некруглого сечения, в изогнутых трубах.
15. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Факторы, обуславливающие свободное движение. Теплоотдача при свободном движении вдоль вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Теплоотдача от ограждений печей.

16. Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Виды лучистых потоков. Законы Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Понятие о сером излучении.

17. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Теплообмен излучением между телами с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен между телом и охватывающей оболочкой, системы с экранами. Угловые коэффициенты излучения, их свойства, методы определения. Зональный метод расчета лучистого теплообмена в печах.

18. Теплообмен излучением в поглощающей среде. Закон Бугера. Уравнение переноса лучистой энергии. Излучение паров и газов. Расчет лучистого теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела. Понятие о сложном теплообмене. Числа радиационного подобия.

Контрольные вопросы и задания для самопроверки

Вариант 1

1. Какими путями может осуществляться обмен энергиями между закрытой ТД системой и внешней средой? (*совершения работы и теплообмена*)
2. Энергия, передаваемая ТД системе внешними телами путем силового воздействия между телами, называется ... (*работой*).
3. Энергия, передаваемая системе путем теплообмена, называется ... (*теплотой*).
4. Запишите первое начало термодинамики. ($\delta Q = dU + \delta A$)
5. Дайте определения: а) теплопроводности; б) конвекции; в) теплового излучения; г) конвективного теплообмена; д) конвективной теплоотдачи. а) Теплопроводность (*молекулярный перенос теплоты в телах (или между ними), обусловленный переменной температурой в рассматриваемом пространстве*). б) Конвекция (*процесс переноса теплоты при перемещении объемов жидкости или газа (текучей среды) в пространстве из области с одной температурой в область с другой. При этом перенос теплоты неразрывно связан с переносом самой среды*). в) тепловое излучение (*процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн, обусловленный только температурой и оптическими свойствами излучающего тела; при этом внутренняя энергия тела (среды) переходит в энергию излучения*). г) конвективный теплообмен (*совместный процесс переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью*). д) конвективная теплоотдача или теплоотдача (*конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела*).
6. Сформулируйте законы Фурье, Ньютона, Фика.
7. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности: 1) в общем виде ($\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c_v \rho}$); 2) для плоской стенки при стационарном режиме при отсутствии внутренних источников тепла ($0 = a \nabla^2 t$); 3) для цилиндрической стенки при стационарном режиме при отсутствии внутренних источников тепла ($0 = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right)$).
8. В чем заключаются условия однозначности? (*Условия однозначности содержат геометрические, физические, временные и граничные условия. Геометрические условия определяют форму и размеры тела, в котором протекает изучаемый процесс. Физические условия задаются теплофизическими параметрами тела λ_i и c_v и распределением внутренних источников теплоты. Временные (начальные) условия содержат распределение температуры в теле в начальный момент времени. Граничные условия определяют особенности протекания процесса на поверхности тела*).
9. Чему равен коэффициент температуропроводности, входящий в дифференциальное уравнение теплопроводности? ($a = \lambda / c_v \rho$)
10. Опишите ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. (*При ламинарном*

режиме отдельные струйки жидкости не перемешиваются друг с другом, или, иначе, каждая частичка жидкости движется параллельно стенке твердого тела (в частности, стенке канала). При **турбулентном** режиме каждая частица потока, участвуя в общем поступательном движении, кроме того, совершает различные поперечные движения, в связи с чем поток движется в виде беспорядочной массы, сильно возмущенной вихрями).

11. Запишите систему дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи, уравнение энергии, уравнение движения вязкой жидкости, уравнение сплошности. (уравнение теплоотдачи - $\alpha = -(\lambda/\Delta t)(\partial t/\partial n)$, уравнение энергии - $a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z$, $\rho \frac{D\omega_x}{d\tau} = \rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 \omega_x$, $\rho \frac{D\omega_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 \omega_y$, $\rho \frac{D\omega_z}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 \omega_z$ - уравнение движения вязкой жидкости, $\left(\frac{\partial(\rho\omega_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho\omega_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho\omega_z)}{\partial z}\right) + \frac{\partial \rho}{\partial \tau} = 0$ - уравнение сплошности).

12. Как определить и что характеризует число Фурье? (Число Фурье $Fo = a\tau/l^2$ характеризует нестационарность тепловых процессов)
13. Какое число подобия является основным, зависящим от других чисел подобия, и что оно характеризует? (Число Нуссельта $Nu = \alpha l/\lambda$ - безразмерный коэффициент теплоотдачи, характеризует интенсивность теплообмена на границе твердое тело - жидкость)
14. Для тела, участвующего в лучистом теплообмене с другими телами, согласно закону сохранения энергии, можно составить следующие уравнения теплового баланса:

$$q_{\text{отп}} + q_{\text{ногл}} + q_{\text{прон}} = q_{\text{над}}, \quad \frac{q_{\text{отп}}}{q_{\text{над}}} + \frac{q_{\text{ногл}}}{q_{\text{над}}} + \frac{q_{\text{прон}}}{q_{\text{над}}} = 1 \quad R + A + D = 1$$

15. Запишите закон Стефана-Больцмана. (Закон Стефана-Больцмана для поверхностной плотности потока интегрального излучения q_0 ($\text{Вт}/\text{м}^2$) выражается следующим соотношением: $q_0 = \sigma_0 T^4$, где $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$ - константа излучения. Для удобства практических расчетов последняя зависимость представляется в виде $q_0 = c_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4$, где $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$ - излучательная способность (коэффициент излучения) абсолютно черного тела.)

16. Вычислите плотность теплового потока через длинную плоскую однородную стенку, если она выполнена из бетона $\lambda = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Толщина стенки $\delta = 50 \text{ мм}$. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными: $t_{\text{cm1}} = 100^\circ\text{C}$ и $t_{\text{cm2}} = 90^\circ\text{C}$. Решение:

$$q = \lambda \frac{t_{\text{cm1}} - t_{\text{cm2}}}{\delta} \quad \text{Ответ: } q = 220 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

17. Для многих материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры близка к линейной: $\lambda = \lambda_0(1 + \beta t)$, где λ_0 - значение коэффициента теплопроводности при 0°C . Определите λ_0 и β для изоляции, выполненной из асботермита, для которого $\lambda = 0,109 + 0,000146 t$. Ответ: $\lambda_0 = 0,109$, $\beta = 0,0013394 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

18. Определить термический коэффициент сопротивления кирпичной стены помещения толщиной в два кирпича ($\delta = 510 \text{ мм}$) с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки $\alpha_1 = 7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром, $\alpha_2 = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Ответ: $R = 1,22$. Решение: термический коэффициент сопротивления определяется по формуле: $R = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} = \frac{1}{1/7,5 + 0,51/0,8 + 1/20} = \frac{1}{0,13 + 0,64 + 0,05} = \frac{1}{0,82} = 1,22$.

19. Пользуясь графиками, выполните следующие расчеты: 1) при заданном числе $Fo = 6$ и числе $Bi = 0,5$ определите температуру $\theta_{\bar{x}=0}$ в середине плоской пластины; 2) при заданной

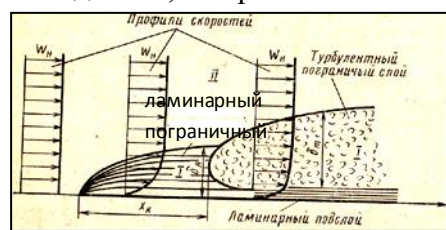
- температуре на поверхности пластины $\theta_{\bar{x}=1}=0,3$ и $Bi=0,5$ определите продолжительность нагрева, т.е. Fo ; 3) при заданном числе $Fo=3$ и температуре на оси цилиндра $\theta_{r=0}=0,05$ определите интенсивность теплоотдачи, т.е. Bi . *Ответ:* $\theta_{\bar{x}=0}=0,08$, $Fo=3$, $Bi=0,6$.
20. Необходимо опытным путем определить распределение температур в длинном стальном вале диаметром $d=400$ мм. Для стали коэффициент теплопроводности равен $\lambda=42$ Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи к валу в печи $\alpha=116$ Вт/(м²·°С). Исследование решено проводить в небольшой печи на геометрически подобной модели вала, выполненной из легированной стали. Для модели $\lambda_m=16$ Вт/(м·°С); $\alpha_m=150$ Вт/(м²·°С). Определить диаметр d_m модели вала. *Ответ:* $d_m=117,5$ мм; $\tau_m=1735$ с. *Решение:* Подобие температурных полей вала и модели будет иметь место при равенстве $Bi_m=Bi$ для образца и модели. Критерии Био для вала равны: $Bi=\alpha/\lambda$. Из условия $Bi_m=Bi$ находим диаметр модели вала: $d_m=2r_m=\frac{2\lambda_m}{\alpha_m}Bi$.
21. Тонкая пластина длиной $l_0=2$ м и шириной $a=1,5$ м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно $\omega_0=3$ м/с; $t_0=20$ °С. Температура поверхности пластины $t_c=90$ °С. Определить средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи. *Ответ:* $\alpha=4,87$ Вт/(м²·°С). *Решение:* Для воздуха при $t_0=20$ °С $\nu=15,06\cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda=2,59\cdot 10^{-2}$ Вт/(м·°С); $Pr=0,703$. Число Рейнольдса $Re=\omega_0 l_0/\nu=3,98\cdot 10^5 < 5\cdot 10^5$, следовательно, режим течения в пограничном слое ламинарный. В этих условиях средняя по длине теплоотдача может быть рассчитана по формуле $Nu=0,67 Re^{0,5} Pr^{1/3}$, где $Nu=\alpha l_0/\lambda$ и $Re=\omega_0 l_0/\nu$, а физические свойства выбираются по температуре набегающего потока t_0 . В рассматриваемом случае $Nu=\alpha l_0/\lambda=0,67 (3,98\cdot 10^5)^{1/2} (0,703)^{1/3}=375$ и коэффициент теплоотдачи $\alpha=Nu\lambda/l_0=375 \cdot 2,59\cdot 10^{-2}/2=4,87$ Вт/(м²·°С).
22. Плоская пластина длиной $l=1$ м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха $\omega_0=80$ м/с и $t_0=10$ °С. Перед пластиной установлена турбулизирующая решетка, вследствие чего движение в пограничном слое на всей длине пластины турбулентное. Вычислить среднее значение коэффициента теплоотдачи с поверхности пластины. *Ответ:* Средний коэффициент теплоотдачи $\alpha=202$ Вт/(м²·°С). *Решение:* При температуре набегающего потока $t_0=10$ °С физические свойства воздуха: $\nu=14,16\cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda=2,51\cdot 10^{-2}$ Вт/(м·°С). Число Рейнольдса $Re=\omega_0 l_0/\nu=80\cdot 1/14,16\cdot 10^{-6}=5,65\cdot 10^6 > 5\cdot 10^5$. Режим движения в пограничном слое на пластине турбулентный. Среднее значение коэффициента теплоотдачи при обтекании пластины воздухом для турбулентного пограничного слоя можно вычислить по формуле $Nu_{жс}=0,032 Re_{жс}^{0,8}$. Подставив полученное значение числа Рейнольдса, получим $Nu_{жс}=0,032 Re_{жс}^{0,8}=0,032(5,65\cdot 10^6)^{0,8}=8050$ и $\alpha=Nu\lambda/l_0=8050\cdot 2,51\cdot 10^{-2}/1=202$ Вт/(м²·°С).

Вариант 2

- Обмен энергиями между закрытой ТД системой и внешней средой может осуществляться путем ____ (совершения работы и теплообмена).
- Энергия, передаваемая ТД системе внешними телами путем силового воздействия между телами, называется ____ (работой).
- Энергия, передаваемая системе путем теплообмена, называется ____ (теплотой).
- Теплообмен возможен путем ____ (конвекции, теплопроводности, излучения).
- Запишите первое начало термодинамики ____ ($\delta Q = dU + \delta A$).

6. Что такое энтальпия ____ ($I = U + pV$ есть функция состояния. $Q = \Delta I$ - энтальпию можно определить как функцию состояния, приращение которой при изобарическом процессе дает теплоту, полученную системой).
7. Дайте определения: а) Теплопроводность ____ (молекулярный перенос теплоты в телах (или между ними), обусловленный переменностью температуры в рассматриваемом пространстве). б) Конвекция ____ (процесс переноса теплоты при перемещении объемов жидкости или газа (текучей среды) в пространстве из области с одной температурой в область с другой. При этом перенос теплоты неразрывно связан с переносом самой среды). в) тепловое излучение - ____ (процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн, обусловленный только температурой и оптическими свойствами излучающего тела; при этом внутренняя энергия тела (среды) переходит в энергию излучения). г) конвективный теплообмен ____ (Совместный процесс переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью). д) конвективная теплоотдача или теплоотдача ____ (конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела). е) теплопередача ____ (процесс передачи теплоты от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку).
8. Сформулируйте законы Фурье, Ньютона, Фика.
9. В чем заключается тройная аналогия (принцип линейности Онзагера) ____ (Закономерности всех трех процессов переноса могут быть обобщены и сформулированы следующим образом: поток субстанции пропорционален движущей силе, а коэффициентом пропорциональности является коэффициент переноса. Движущей силой в каждом случае является градиент объемной плотности соответствующей субстанции. В этой формулировке отражено существо известного в термодинамике необратимых процессов принципа линейности Онзагера, являющегося одним из общих принципов процессов переноса. Аналогия процессов молекулярного переноса импульса, тепла и массы при определенных условиях приводит к тождественности соответствующих дифференциальных уравнений и позволяет создать общую теорию процессов переноса).
10. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности ____ ($\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c_v \rho}$)
11. В чем заключаются условия однозначности? ____ (Условия однозначности содержат геометрические, физические, временные и граничные условия. Геометрические условия определяют форму и размеры тела, в котором протекает изучаемый процесс. Физические условия задаются теплофизическими параметрами тела λ_i и c_v и распределением внутренних источников теплоты. Временные (начальные) условия содержат распределение температуры в теле в начальный момент времени. Граничные условия определяют особенности протекания процесса на поверхности тела).
12. Сформулируйте граничные условия I – IV рода ____ (Граничные условия I рода - задается распределение температуры на поверхности тела для каждого момента времени: $T_{cm} = f(\tau, x_{cm}, y_{cm}, z_{cm})$. Граничные условия II рода - заданной является величина плотности теплового потока для каждой точки поверхности тела в любой момент времени, т.е. $q_{cm} = f(\tau, x_{cm}, y_{cm}, z_{cm})$. Граничные условия III рода - задаются температуры среды T_0 и условия теплообмена этой среды с поверхностью тела. Для описания интенсивности теплообмена между поверхностью тела и средой используется гипотеза Ньютона-Рихмана $\frac{\partial t}{\partial n} \Big|_{cm} = -\frac{\alpha}{\lambda} (t_{cm} - t_0)$. Граничные условия IV рода характеризуют условия теплообмена системы тел или тела с окружающей средой по закону теплопроводности и формулируются на основании равенства тепловых потоков, проходящих через поверхность соприкосновения тел, т. е. $\lambda_1 \frac{\partial t}{\partial n} \Big|_{cm1} = \lambda_2 \frac{\partial t}{\partial n} \Big|_{cm2}$.

13. Опишите ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости, пограничный слой ____ (При ламинарном режиме отдельные струйки жидкости не перемешиваются друг с другом, или, иначе,



каждая частичка жидкости движется параллельно стенке твердого тела (в частности, стенке канала). При турбулентном режиме каждая частица потока, участвуя в общем поступательном движении, кроме того, совершает различные поперечные движения, в связи с чем поток движется в виде беспорядочной массы, сильно возмущенной вихрями).

14. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Уравнение теплоотдачи. Уравнение энергии. Уравнение движения вязкой жидкости. Уравнение сплошности. (уравнение теплоотдачи - $\alpha = -(\lambda/\Delta t)(\partial t/\partial n)$, уравнение энергии - $a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x}\omega_x + \frac{\partial t}{\partial y}\omega_y + \frac{\partial t}{\partial z}\omega_z$, $\rho \frac{D\omega_x}{d\tau} = \rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 \omega_x$, $\rho \frac{D\omega_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 \omega_y$, $\rho \frac{D\omega_z}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 \omega_z$ - уравнение движения вязкой жидкости, $\left(\frac{\partial(\rho\omega_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho\omega_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho\omega_z)}{\partial z}\right) + \frac{\partial \rho}{\partial \tau} = 0$ - уравнение сплошности).

15. Из уравнения Навье-Стокса $\rho\left(\frac{\partial \omega_x}{\partial \tau} + \frac{\partial \omega_x}{\partial x}\omega_x + \frac{\partial \omega_x}{\partial y}\omega_y + \frac{\partial \omega_x}{\partial z}\omega_z\right) = \rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu\left(\frac{\partial^2 \omega_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial z^2}\right)$, используя гидромеханическое подобие, получите число Эйлера $Eu = \Delta p/\rho \omega^2$ и число Рейнольдса $Re = \rho \omega l/\mu$. (Условия подобия $\frac{c_p c_v}{c_t} = \frac{c_p c_v^2}{c_l} = c_p c_g = \frac{c_p}{c_l} = \frac{c_\mu c_v}{c_l^2}$. Из условия $\frac{c_p c_v^2}{c_l} = \frac{c_p}{c_l}$ получим индикатор подобия $c_p/c_p c_v^2 = 1$. Из этого индикатора выводится число Эйлера: $Eu = p/\rho v^2 = idem$. Пользуясь правилом замещения одноименных величин, представим число Эйлера в виде $Eu = \Delta p/\rho v^2$, где Δp - перепад давлений. Число Эйлера является мерой отношения перепада статических давлений (гидравлическое сопротивление) в потоке жидкости к динамическому давлению потока. Из условия $\frac{c_p c_v^2}{c_l} = \frac{c_\mu c_v}{c_l^2}$ получим индикатор подобия $c_p c_v c_l/c_\mu = 1$. Из этого индикатора получим число Рейнольдса: $Re = \rho \omega l/\mu = idem$. Так как $\mu/\rho = \nu$, где ν - кинематическая вязкость, то число Рейнольдса может быть записано в виде $Re = \omega l/\nu$. Физический смысл числа Re легко выяснить, написав его в виде $Re = \rho v^2/(\mu v/l)$. Критерий Рейнольдса является мерой отношения динамического давления, к давлению силы вязкого трения.)

16. Из уравнений $a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x}\omega_x$, $\lambda(\partial t/\partial n) = \alpha \Delta t$, используя тепловое подобие, получите число Фурье $Fo = a\tau/l^2$, число Пекле $Pe = \omega l/a$ и число Нуссельта $Nu = \alpha l/\lambda$. (Условия подобия $\frac{c_a c_T}{c_l^2} = \frac{c_T}{c_l} = \frac{c_T c_v}{c_l}$, $\frac{c_\lambda c_T}{c_l} = c_\alpha c_T$. Из условия $\frac{c_a c_T}{c_l^2} = \frac{c_T}{c_l}$ получим индикатор подобия $c_a c_l/c_l^2 = 1$. Этому индикатору соответствует число Фурье: $Fo = a\tau/l^2 = idem$, который характеризует нестационарность тепловых процессов. Число Фурье является безразмерным временем и выражает определенное соответствие между темпом изменения условий в окружающей среде и темпом перестройки температурного поля внутри тела. Из условия $\frac{c_a c_T}{c_l^2} = \frac{c_T c_v}{c_l}$ получим индикатор подобия $c_v c_l/c_a = 1$. Из этого индикатора выводится число Пекле: $Pe = \omega l/a = idem$. Число Пекле - критерий подобия температурных полей. В этот критерий не входит температура, но входит скорость. Следовательно, число Пекле, как и число Рейнольдса, характеризует кинематическую обстановку процесса. Для теплового подобия скоростные поля должны удовлетворять не только тому требованию, которое вытекает из условия $Re = idem$, но и дополнительному требованию $Pe = idem$. Из условия $\frac{c_\lambda c_T}{c_l} = c_\alpha c_T$ получим индикатор подобия $c_\alpha c_l/c_\lambda = 1$ и соответствующее число Нуссельта $Nu = \alpha l/\lambda$.)

Число Нуссельта представляет собой безразмерный коэффициент теплоотдачи. Оно характеризует интенсивность теплообмена на границе твердое тело - жидкость. Число Нуссельта является определяемым, так как в него входит искомый коэффициент теплоотдачи α (не входящий в условие однозначности).

17. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена из бетона $\lambda = 1,1$ Вт/(м·К). Толщина стенки $\delta = 50$ мм. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными: $t_{cm1} = 100^\circ\text{C}$ и $t_{cm2} = 90^\circ\text{C}$. Решение: $q = \lambda \frac{t_{cm1} - t_{cm2}}{\delta}$ Ответ: $q = 220$ Вт/м².

18. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали $q = 450$ Вт/м². Температура поверхности под изоляцией $t_{cm1} = 450^\circ\text{C}$, температура внешней поверхности изоляции $t_{cm2} = 50^\circ\text{C}$. Определить толщину изоляции для случая, если изоляция выполнена из асботермита, для которого $\lambda = 0,109 + 0,000146t$. Ответ: $\delta = 130$ мм. Решение: $\delta = \lambda_{cp} \frac{t_{cm1} - t_{cm2}}{q}$, где $\lambda_{cp} = \lambda_0 (1 + \beta \frac{t_{cm1} + t_{cm2}}{2})$.

Сравнивая $\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t)$ и формулы для λ каждого материала, имеем значения λ_0 и β .

19. Определить термический коэффициент сопротивления кирпичной стены помещения толщиной в два кирпича ($\delta = 510$ мм) с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,8$ Вт/(м·°C). Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки $\alpha_1 = 7,5$ Вт/(м²·°C); коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром, $\alpha_2 = 20$ Вт/(м²·°C). Ответ: $R = 1,22$. Решение: термический коэффициент сопротивления по формуле: $R = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} = \frac{1}{1/7,5 + 0,51/0,8 + 1/20} = \frac{1}{0,13 + 0,64 + 0,05} = \frac{1}{0,82} = 1,22$.

20. Пользуясь номограммами Будрина, выполните следующие расчеты:

- 1) при заданном числе $Fo = 6$ и числе $Bi = 0,5$ определите температуру $\theta_{\bar{x}=0} = 0,08$ в середине плоской пластины;
- 2) при заданных температуре на поверхности пластины $\theta_{\bar{x}=1} = 0,3$ и $Bi = 0,5$ определите продолжительность нагрева, т.е. $Fo = 3$;
- 3) при заданных числе $Fo = 3$ и температуре на оси цилиндра $\theta_{r=0} = 0,05$ определите интенсивность теплоотдачи, т.е. $Bi = 0,6$.

21. Резиновая пластина толщиной $2\delta = 20$ мм, нагретая до температуры $t_0 = 140^\circ\text{C}$, помещена в воздушную среду с температурой $t_{жс} = 15^\circ\text{C}$. Определить температуры в середине и на поверхности пластины через $\tau = 20$ мин после начала охлаждения. Коэффициент теплопроводности резины $\lambda = 0,175$ Вт/(м·°C), коэффициент температуропроводности резины $a = 0,833 \cdot 10^{-7}$ м²/с, коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающему воздуху $\alpha = 65$ Вт/(м²·°C). Ответ: $t_{\bar{x}=1} = 25,4^\circ\text{C}$, $t_{\bar{x}=0} = 47,5^\circ\text{C}$. Решение:

Температуры в середине и на поверхности безграничной пластины при охлаждении (нагревании) в среде с постоянной температурой можно определить с помощью графиков $\theta_{\bar{x}=1} = f_2(Bi, Fo)$ и $\theta_{\bar{x}=0} = f_1(Bi, Fo)$. В рассматриваемом случае $Bi = \alpha\delta/\lambda = 3,73$, $Fo = a\tau/\delta^2 = 1$. При этих значениях критериев Bi и Fo по графикам находим $\theta_{\bar{x}=0} = 0,26$ и $\theta_{\bar{x}=1} = 0,083$.

Безразмерная температура $\theta = \frac{t - t_{жс}}{t_0 - t_{жс}}$, \Rightarrow , $t_{\bar{x}=0} = t_{жс} + \theta_{\bar{x}=0}(t_0 - t_{жс}) = 15 + 0,26(140 - 15) = 47,5^\circ\text{C}$,

$t_{\bar{x}=1} = t_{жс} + \theta_{\bar{x}=1}(t_0 - t_{жс}) = 15 + 0,083(140 - 15) = 25,4^\circ\text{C}$.

22. Тонкая пластина длиной $l_0 = 2$ м и шириной $a = 1,5$ м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно $w_0 = 3$ м/с; $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Температура поверхности пластины $t_c = 90^\circ\text{C}$. Определить средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи. Ответ: $\alpha = 4,87$ Вт/(м²·°C). Решение: Для воздуха

при $t_0 = 20^\circ\text{C}$ $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $\text{Pr} = 0,703$. Число Рейнольдса $\text{Re} = \omega_0 l_0 / \nu = 3,98 \cdot 10^5 < 5 \cdot 10^5$, следовательно, режим течения в пограничном слое ламинарный. В этих условиях средняя по длине теплоотдача может быть рассчитана по формуле $\overline{Nu} = 0,67 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{1/3}$, где $Nu = \alpha l_0 / \lambda$ и $\text{Re} = \omega_0 l_0 / \nu$, а физические свойства выбираются по температуре набегающего потока t_0 . В рассматриваемом случае $Nu = \alpha l_0 / \lambda = 0,67 (3,98 \cdot 10^5)^{1/2} (0,703)^{1/3} = 375$ и коэффициент теплоотдачи $\alpha = Nu \lambda / l_0 = 375 \cdot 2,59 \cdot 10^{-2} / 2 = 4,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

23. Плоская пластина длиной $l = 1 \text{ м}$ обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха $\omega_0 = 80 \text{ м}/\text{с}$ и $t_0 = 10^\circ\text{C}$. Перед пластиной установлена турбулизирующая решетка, вследствие чего движение в пограничном слое на всей длине пластины турбулентное. Вычислить среднее значение коэффициента теплоотдачи с поверхности пластины. *Ответ: Средний коэффициент теплоотдачи $\alpha = 202 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Решение: При температуре набегающего потока $t_0 = 10^\circ\text{C}$ физические свойства воздуха: $\nu = 14,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda = 2,51 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Число Рейнольдса $\text{Re} = \omega_0 l_0 / \nu = 80 \cdot 1 / 14,16 \cdot 10^{-6} = 5,65 \cdot 10^6 > 5 \cdot 10^5$. Режим движения в пограничном слое на пластине турбулентный. Среднее значение коэффициента теплоотдачи при обтекании пластины воздухом для турбулентного пограничного слоя можно вычислить по формуле $\overline{Nu}_{\text{жс}} = 0,032 \text{Re}_{\text{жс}}^{0,8}$. Подставив полученное значение числа Рейнольдса, получим $Nu_{\text{жс}} = 0,032 \text{Re}_{\text{жс}}^{0,8} = 0,032 (5,65 \cdot 10^6)^{0,8} = 8050$ и $\alpha = Nu \lambda / l_0 = 8050 \cdot 2,51 \cdot 10^{-2} / 1 = 202 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.*

24. Необходимо опытным путем определить распределение температур в длинном стальном вале диаметром $d = 400 \text{ мм}$ через $\tau = 2,5 \text{ ч}$ после загрузки его в печь. Для стали коэффициенты теплопроводности и температуропроводности равны соответственно: $\lambda = 42 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $a = 1,18 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент теплоотдачи к валу в печи $\alpha = 116 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Исследование решено проводить в небольшой печи на геометрически подобной модели вала, выполненной из легированной стали. Для модели $\lambda_m = 16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $a_m = 0,53 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; $\alpha_m = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Определить диаметр d_m модели вала и промежуток времени, через который после загрузки модели в печь необходимо измерить распределение температур в модели. *Ответ: $d_m = 117,5 \text{ мм}$; $\tau_m = 1735 \text{ с}$. Решение: Подобие температурных полей вала и модели будет иметь место при равенстве критериев для образца и модели: $Bi_m = Bi$ и $Fo_m = Fo$. Критерии Био и Фурье для вала равны: $Bi = \alpha r / \lambda$, $Fo = a \tau / r^2$. Из условия $Bi_m = Bi$ находим диаметр модели вала: $d_m = 2r_m = \frac{2\lambda_m}{\alpha_m} Bi$. Из условия $Fo_m = Fo$ находим*

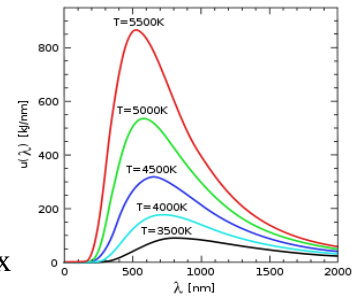
искомый промежуток времени: $\tau_m = \frac{r_m^2}{a_m} Fo$.

Вариант 3

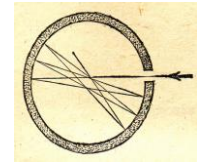
1. Что такое внутренняя энергия системы?
2. Тело или совокупность тел, выделенные из окружающей среды реальной или воображаемой поверхностью, через которую может осуществляться взаимодействие рассматриваемой системы с окружающей средой, называется
3. Величина, численно равная отношению δQ , сообщаемого телу, к изменению dT тела в рассматриваемом процессе, называется
4. Запишите первое начало термодинамики.
5. ТД процесс, совершаемый системой, называется обратимым, если...
6. Сформулируйте законы Фурье, Ньютона, Фика.
7. Функция состояния, приращение которой при изобарическом процессе дает теплоту, полученную системой, называется
8. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности: 1) в общем виде; 2) для

цилиндрической стенки при стационарном режиме при отсутствии внутренних источников тепла.

9. В чем заключаются граничные условия?
10. Как определяется коэффициент термического сопротивления?
11. Опишите пограничный слой жидкости.
12. Запишите систему дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи, уравнение энергии, уравнение сплошности.
13. Как определить и что характеризует число Рейнольдса?
14. Какое число подобия является основным, зависящим от других чисел подобия, и что оно характеризует?



15. Какой закон излучения показан на рисунке?
16. Запишите уравнение теплового баланса для тела, участвующего в лучистом теплообмене с другими телами.
17. Модель какого явления показана на рисунке?
18. Вычислите плотность теплового потока через длинную плоскую однородную стенку, если она выполнена из стали $\lambda = 18 \text{ Вт/(м·К)}$. Толщина стенки $\delta = 50 \text{ мм}$. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными: $t_{cm1} = 200^\circ\text{C}$ и $t_{cm2} = 60^\circ\text{C}$.



19. Определить термический коэффициент сопротивления кирпичной стены помещения толщиной в два кирпича ($\delta = 510 \text{ мм}$) с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,8 \text{ Вт/(м·}^\circ\text{C)}$. Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки $\alpha_1 = 7,5 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром, $\alpha_2 = 20 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$.
20. Резиновая пластина толщиной $2\delta = 20 \text{ мм}$, нагретая до температуры $t_0 = 140^\circ\text{C}$, помещена в воздушную среду с температурой $t_{жс} = 15^\circ\text{C}$. Определить температуры в середине и на поверхности пластины через $\tau = 20 \text{ мин}$ после начала охлаждения. Коэффициент теплопроводности резины $\lambda = 0,175 \text{ Вт/(м·}^\circ\text{C)}$, коэффициент температуропроводности резины $a = 0,833 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающему воздуху $\alpha = 65 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$.
21. Необходимо опытным путем определить распределение температур в длинном стальном вале диаметром $d = 400 \text{ мм}$. Для стали коэффициент теплопроводности равен $\lambda = 42 \text{ Вт/(м·}^\circ\text{C)}$. Коэффициент теплоотдачи к валу в печи $\alpha = 116 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$. Исследование решено проводить в небольшой печи на геометрически подобной модели вала, выполненной из легированной стали. Для модели $\lambda_m = 16 \text{ Вт/(м·}^\circ\text{C)}$; $\alpha_m = 150 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$. Определить диаметр d_m модели вала.
22. Тонкая пластина длиной $l_0 = 2 \text{ м}$ обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно $\omega_0 = 3 \text{ м/с}$; $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Определите режим течения в пограничном слое.
23. Плоская пластина длиной $l = 1 \text{ м}$ обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха $\omega_0 = 80 \text{ м/с}$ и $t_0 = 10^\circ\text{C}$. Перед пластиной установлена турбулизирующая решетка, вследствие чего движение в пограничном слое на всей длине пластины турбулентное. Вычислить среднее значение коэффициента теплоотдачи с поверхности пластины.

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad } t \quad m_i = -D_i \text{grad } \rho_i \quad \tau = \eta \text{grad } u \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c_v \rho} \quad q = \lambda \frac{t_{cm1} - t_{cm2}}{\delta}$$

$$\lambda_{cp} = \lambda_0 \left(1 + \beta \frac{t_{cm1} + t_{cm2}}{2} \right) \quad q = \frac{t_1 - t_2}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} \quad k = \frac{1}{1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_2}$$

$$R = 1/k = 1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_2 \quad q = k(t_1 - t_2) \quad R_l = 1/k_l = \frac{1}{\alpha_1 \pi d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln(\delta_i/\lambda_i) + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_{n+1}}$$

$$q = \frac{t_{cm1} - t_{cmn+1}}{\sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i} \quad q = \lambda_{экс} \frac{t_{cm1} - t_{cmn+1}}{\sum_{i=1}^n \delta_i} \quad \lambda_{экс} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i} \quad \theta = \frac{t - t_{эс}}{t_0 - t_{эс}} \quad \alpha = -(\lambda/\Delta t)(\partial t/\partial n)$$

$$a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial t}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial t}{\partial z} \omega_z \quad \rho \frac{D\omega_x}{d\tau} = \rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 \omega_x$$

$$\rho \frac{D\omega_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 \omega_y \quad \rho \frac{D\omega_z}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 \omega_z \quad \left(\frac{\partial(\rho\omega_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho\omega_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho\omega_z)}{\partial z} \right) + \frac{\partial \rho}{\partial \tau} = 0.$$

$$Eu = \Delta p / \rho \omega^2 \quad Re = \rho \omega l / \mu \quad Fo = a \tau / l^2 \quad Pe = \omega l / a \quad Nu = \alpha l / \lambda \quad Re = \omega l / \nu$$

$Nu = 0,67 Re^{0,5} Pr^{1/3}$ (при $Re < 5 \cdot 10^5$, т.е. при ламинарном режиме) $Nu_{эс} = 0,032 Re_{эс}^{0,8}$ (при $Re > 5 \cdot 10^5$, т.е. при турбулентном режиме в пограничном слое)

Контрольные работы

Контрольная работа 1

Вариант 1

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали $q=650 \text{ Вт/м}^2$. Температура поверхности под изоляцией $t_{cm1}=400^\circ\text{C}$, температура внешней поверхности изоляции $t_{cm2}=40^\circ\text{C}$. Определить толщину изоляции для случая, когда изоляция выполнена из диатомитовой крошки, для которой $\lambda=0,113+0,00023t$.

2. В нагревательной печи, где температура газов t_1 , стенка сделана из трех слоев: шамотного кирпича толщиной 70 мм, красного кирпича толщиной 250 мм и снаружи слоя изоляции толщиной $\delta_{из}$. Воздух в цехе имеет температуру t_2 . Коэффициент теплоотдачи в печи от газов к стенке α_1 , снаружи от изоляции к воздуху α_2 . Найти коэффициент теплопередачи от газов к воздуху, потери теплоты через стенку, температуры на поверхностях всех слоев. Построить график температур в стенке.

Вари-ант	Материал изоляции	$\delta_{из}$, мм	t_2 , $^\circ\text{C}$	α_2 , Вт/(м ² К)	Вари ант	t_1 , $^\circ\text{C}$	α_1 , Вт/(м ² К)
2	Шлаковата	90	30	30	б	1400	130

3. Железобетонная дымовая труба внутренним диаметром $d_2=800$ мм и наружным диаметром $d_3=1300$ мм должна быть футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы t_{cm3} из условий, чтобы тепловые потери с 1 м трубы не превышали 2000 Вт/м, а температура внутренней поверхности железобетонной стенки t_{cm2} не превышала 200°C . Температура внутренней поверхности футеровки $t_{cm1}=425^\circ\text{C}$; коэффициент теплопроводности футеровки $\lambda_1=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_2=1,1 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$.

4. По стальному трубопроводу наружным диаметром d_n и толщиной 25 мм протекает газ со средней температурой t_1 и коэффициентом теплоотдачи в трубе $\alpha_1=35 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$. Снаружи

труба покрыта двумя слоями изоляции: слоем А толщиной δ_A (на поверхности трубы) и слоем Б толщиной δ_B . На внешней поверхности изоляции температура t_{uz} . Определить потери теплоты трубопроводом длиной l и температуру на поверхности контакта между слоями изоляции.

Вари-ант	Слои изоляции	d_n , мм	l , м	t_1 , °С	Вари-ант	δ_A , δ_B м	t_{uz} , °С
1	А – асбослюда, Б - бетон	1000	40	500	а	200 250	50

Контрольная работа 1

Вариант 2

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали $q=600$ Вт/м². Температура поверхности под изоляцией $t_{cm1}=500$ °С, температура внешней поверхности изоляции $t_{cm2}=45$ °С. Определить толщину изоляции для случая, когда изоляция выполнена из новоасбозурита, для которого $\lambda = 0,144 + 0,00014 t$.

2. В нагревательной печи, где температура газов t_1 , стенка сделана из трех слоев: силикатного кирпича толщиной 40 мм, красного кирпича толщиной 350 мм и снаружи слоя изоляции толщиной δ_{uz} . Воздух в цехе имеет температуру t_2 . Коэффициент теплоотдачи в печи от газов к стенке α_1 , снаружи от изоляции к воздуху α_2 . Найти коэффициент теплопередачи от газов к воздуху, потери теплоты через стенку, температуры на поверхностях всех слоев. Построить график температур в стенке.

Вари-ант	Материал изоляции	δ_{uz} , мм	t_2 , °С	α_2 , Вт/(м ² К)	Вари-ант	t_1 , °С	α_1 , Вт/(м ² К)
1	Асбест	100	27	25	а	1500	120

3. Железобетонная дымовая труба внутренним диаметром $d_2=800$ мм и наружным диаметром $d_3=1300$ мм должна быть футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы t_{cm3} из условий, чтобы тепловые потери с 1 м трубы не превышали 2000 Вт/м, а температура внутренней поверхности железобетонной стенки t_{cm2} не превышала 200°С. Температура внутренней поверхности футеровки $t_{cm1}=425$ °С; коэффициент теплопроводности футеровки $\lambda_1=0,5$ Вт/(м·°С); коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_2=1,1$ Вт/(м·°С).

4. По стальному трубопроводу наружным диаметром d_n и толщиной 25 мм протекает газ со средней температурой t_1 и коэффициентом теплоотдачи в трубе $\alpha_1=35$ Вт/(м² К). Снаружи труба покрыта двумя слоями изоляции: слоем А толщиной δ_A (на поверхности трубы) и слоем Б толщиной δ_B . На внешней поверхности изоляции температура t_{uz} . Определить потери теплоты трубопроводом длиной l и температуру на поверхности контакта между слоями изоляции.

Вари-ант	Слои изоляции	d_n , мм	l , м	t_1 , °С	Вари-ант	δ_A , δ_B м	t_{uz} , °С
----------	---------------	------------	---------	------------	----------	------------------------------	---------------

2	А – вермикулит, Б - асбест	1200	90	600	б	300 180	60
---	----------------------------------	------	----	-----	---	------------	----

Контрольная работа 2

Вариант 1

1. Определить время τ , необходимое для нагрева листа стали толщиной $2\delta=24$ мм, который имел начальную температуру $t_0=25^\circ\text{C}$, а затем был помещен в печь с температурой $t_{жс}=600^\circ\text{C}$. Нагрев считать законченным, когда температура листа достигнет значения $t=450^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность стали равны соответственно $\lambda=45,4$ Вт/(м·°C); $c=0,502$ кДж/(кг·°C); $\rho=7800$ кг/м³, а коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha=23,3$ Вт/(м²·°C).

2. Стальная пластина толщиной $2\delta=400$ мм нагревается в печи, имеющей постоянную температуру $t_{жс}=800^\circ\text{C}$. Температура пластины в момент помещения ее в печь была всюду одинаковой и равной $t_0=30^\circ\text{C}$. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda=37,2$ Вт/(м·°C); $a=7\cdot 10^{-6}$ м²/с, коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha=200$ Вт/(м²·°C). Определить среднюю безразмерную температуру в

момент времени $\tau=2$ часа. ($\bar{\theta} = \frac{\theta}{\theta_0} = \sum_{n=1}^{\infty} 2 \frac{\sin^2 n_i}{n_i^2 + n_i \sin n_i \cos n_i} e^{-n_i^2 Fo}$)

3. Длинный стальной вал диаметром $d=2R_0=120$ мм, который имел температуру $t_0=20^\circ\text{C}$, был помещен в печь с температурой $t_{жс}=820^\circ\text{C}$. Определить значения температур на поверхности и на оси вала по истечении 40 мин после загрузки вала в печь. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda=21$ Вт/(м·°C); $a=6,11\cdot 10^{-6}$ м²/с. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha=140$ Вт/(м²·K).

4. Стальная цилиндрическая болванка диаметром $d=620$ мм, которая имела температуру $t_0=600^\circ\text{C}$, охлаждается в среде с постоянной температурой $t_{жс}=20^\circ\text{C}$. Определить количество теплоты Q_1 , которое будет отдано цилиндром окружающей среде через 2,8 часа после начала охлаждения с 1 м длины болванки. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности и плотности стали равны соответственно $\lambda=49$ Вт/(м·°C); $a=1,4\cdot 10^{-5}$ м²/с, $\rho=7850$ кг/м³. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha=160$ Вт/(м²·K).

($Q_1 = Q(1 - \mathcal{G}_{cp})$, где изменение энтальпии $Q = \pi R_0^2 l \rho c (t_{жс} - t_0)$ и средняя безразмерная температура $\mathcal{G}_{cp} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4Bi}{n_i^2 (n_i^2 + Bi^2)} e^{-n_i^2 Fo}$. $\mathcal{G}_{cp} = \frac{4Bi^2}{n_1 (n_1^2 + Bi^2)} e^{-n_1^2 Fo}$ при $Fo \geq 0,25$.)

Контрольная работа 2

Вариант 2

1. Лист стали толщиной $2\delta=30$ мм, имеющий начальную температуру $t_0=20^\circ\text{C}$, помещен в печь с температурой $t_{жс}=620^\circ\text{C}$ и нагревается до температуры $t=420^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность стали равны соответственно $\lambda=45$ Вт/(м·°C); $c=500$ Дж/(кг·°C); $\rho=7800$ кг/м³, а коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha=22$ Вт/(м²·°C). Определить время τ , необходимое для нагревания листа стали.

2. Стальной лист толщиной 30 мм (теплоемкость $c=0,42$ кДж/(кг·°C), плотность $\rho=7000$ кг/м³) нагрет до 400°C и охлаждается в воздухе с температурой 10°C при коэффициенте теплоотдачи $\alpha=20$ Вт/(м²·°C). Через сколько часов температура листа на поверхности будет

на 11°C отличаться от температуры воздуха? Сколько теплоты будет отдано с 1 м^2 листа за время охлаждения?

3. Длинный стальной вал диаметром $d=140\text{ мм}$, который имел температуру $t_0=25^{\circ}\text{C}$, был помещен в печь с температурой $t_{\text{жс}}=720^{\circ}\text{C}$. Определить значения температур на поверхности и на оси вала по истечении 80 мин после загрузки вала в печь расчетным путем и с помощью графиков. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda=20\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$; $a=6\cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha=150\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

4. Колонна радиусом $0,15\text{ м}$ из бетона с начальной температурой 30°C охлаждается в воздухе с постоянной температурой -10°C , коэффициент теплоотдачи равен $4,3\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Найти температуры на поверхности, на оси колонны и на радиусе 10 см через 5 ч после начала охлаждения. Принять для бетона плотность $1700\text{ кг}/\text{м}^3$, теплоемкость $700\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Определить количество теплоты, которая будет отдана воздуху 1 м длины колонны за 5 ч процесса охлаждения.

Приложение 2

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-2 Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических и социальных ограничений		
ОПК-2.1	<p>– Проводит технико-экономическое обоснование и экономическую оценку проектных решений и инженерных задач</p>	<p><i>Вопросы к экзамену</i></p> <p>1. Основные сведения из термодинамики. Уравнение состояния. Внутренняя энергия, энтальпия, теплота, работа, теплоемкость. Первый и второй законы термодинамики. Основные уравнения одномерного течения газа: сплошности, импульсов, энергии.</p> <p>2. Основные сведения из механики газов. Режимы движения жидкости. Движение газов в каналах с низкой скоростью. Равновесие газа. Истечение газа через отверстия. Уравнение Бернулли.</p> <p>3. Струйное движение газа. Свободная струя. Ограниченные струи.</p> <p>4. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты и массы: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Тройная аналогия, как выражение общего закона переноса – принципа линейности Онзагера. Дифференциальные условия теплообмена.</p> <p>5. Теплопроводность. Градиент температур. Механизм переноса теплоты теплопроводностью в газах, жидкостях, металлах и неметаллах. Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности.</p> <p>6. Теплопроводность при стационарном режиме. Передача теплоты через плоскую стенку при граничных условиях I и III рода. Коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление. Многослойная плоская стенка.</p> <p>7. Расчет температур в многослойной плоской стенке на стыке слоев. Расчет потерь теплоты через стены печей. Расчет толщины изоляции. Передача теплоты через цилиндрическую стенку при граничных условиях I и III рода. Многослойная цилиндрическая стенка. Критический диаметр изоляции.</p> <p>8. Теплопроводность при нестационарном режиме. Основные представления о методах решения задач при нестационарной теплопроводности. Теплопроводность бесконечной пластины. Анализ решения для предельных</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>значений числа Био. Номограммы Д.В. Будрина.</p> <p>9. Теплопроводность цилиндра. Анализ решения. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в нестационарном режиме. Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров. Теорема о перемножении решений. Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел.</p> <p>10. Основные положения конвективного теплообмена. Виды конвекции. Режимы движения жидкости. Пограничный слой.</p> <p>11. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи, энергии, движения, сплошности. Условия однозначности.</p> <p>12. Подобие процессов конвективного теплообмена. Приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Число подобия. Уравнения подобия. Условия подобия физических процессов. Теоремы подобия. Обобщение опытных данных и получение эмпирических уравнений.</p> <p>13. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплоотдача при вынужденном продольном обтекании плоской поверхности. Гидродинамический и тепловой пограничные слои, соотношение их толщин. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое. Струйное охлаждение</p> <p>14. Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах и каналах. Особенности течения и теплообмена в трубах. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения. Теплоотдача в трубах некруглого сечения, в изогнутых трубах.</p> <p>15. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Факторы, обуславливающие свободное движение. Теплоотдача при свободном движении вдоль вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Теплоотдача от ограждений печей.</p> <p>16. Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Виды лучистых потоков. Законы Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Понятие о сером излучении.</p> <p>17. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Теплообмен излучением между телами с плоскопараллельными поверхностями.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p><i>Теплообмен между телом и охватывающей оболочкой, системы с экранами. Угловые коэффициенты излучения, их свойства, методы определения. Зональный метод расчета лучистого теплообмена в печах. 18. Теплообмен излучением в поглощающей среде. Закон Бугера. Уравнение переноса лучистой энергии. Излучение паров и газов. Расчет лучистого теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела. Понятие о сложном теплообмене. Числа радиационного подобия.</i></p>
ОПК-2.2	<p>– Проводит оценку проектных решений и инженерных задач, в том числе экологическую</p>	<p><i>Контрольные вопросы и задания для самопроверки</i></p> <p><i>Вариант 1</i></p> <p><i>1. Какими путями может осуществляться обмен энергиями между закрытой ТД системой и внешней средой? (совершения работы и теплообмена)</i></p> <p><i>2. Энергия, передаваемая ТД системе внешними телами путем силового воздействия между телами, называется ... (работой).</i></p> <p><i>3. Энергия, передаваемая системе путем теплообмена, называется ... (теплотой).</i></p> <p><i>4. Запишите первое начало термодинамики. ()</i></p> <p><i>5. Дайте определения: а) теплопроводности; б) конвекции; в) теплового излучения; г) конвективного теплообмена; д) конвективной теплоотдачи. а) Теплопроводность (молекулярный перенос теплоты в телах (или между ними), обусловленный переменностью температуры в рассматриваемом пространстве). б) Конвекция (процесс переноса теплоты при перемещении объемов жидкости или газа (текучей среды) в пространстве из области с одной температурой в область с другой. При этом перенос теплоты неразрывно связан с переносом самой среды). в) тепловое излучение (процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн, обусловленный только температурой и оптическими свойствами излучающего тела; при этом внутренняя энергия тела (среды) переходит в энергию излучения). г) конвективный теплообмен (Совместный процесс переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью). д) конвективная теплоотдача или теплоотдача (конвективный теплообмен между потоками жидкости или</i></p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>газа и поверхностью твердого тела).</p> <p>6. Сформулируйте законы Фурье, Ньютона, Фика.</p> <p>7. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности: 1) в общем виде (); 2) для плоской стенки при стационарном режиме при отсутствии внутренних источников тепла (); 3) для цилиндрической стенки при стационарном режиме при отсутствии внутренних источников тепла ().</p> <p>8. В чем заключаются условия однозначности? (Условия однозначности содержат геометрические, физические, временные и граничные условия. Геометрические условия определяют форму и размеры тела, в котором протекает изучаемый процесс. Физические условия задаются теплофизическими параметрами тела и распределением внутренних источников теплоты. Временные (начальные) условия содержат распределение температуры в теле в начальный момент времени. Граничные условия определяют особенности протекания процесса на поверхности тела).</p> <p>9. Чему равен коэффициент температуропроводности, входящий в дифференциальное уравнение теплопроводности? ()</p> <p>10. Опишите ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. (При ламинарном режиме отдельные струйки жидкости не перемешиваются друг с другом, или, иначе, каждая частичка жидкости движется параллельно стенке твердого тела (в частности, стенке канала). При турбулентном режиме каждая частица потока, участвуя в общем поступательном движении, кроме того, совершает различные поперечные движения, в связи с чем поток движется в виде беспорядочной массы, сильно возмущенной вихрями).</p> <p>11. Запишите систему дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи, уравнение энергии, уравнение движения вязкой жидкости, уравнение сплошности. (уравнение теплоотдачи - , уравнение энергии - , , - уравнение движения вязкой жидкости, - уравнение сплошности).</p> <p>12. Как определить и что характеризует число Фурье? (Число Фурье характеризует нестационарность тепловых процессов)</p> <p>13. Какое число подобия является основным, зависящим от других чисел подобия, и что оно характеризует? (Число Нуссельта - безразмерный</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p><i>коэффициент теплоотдачи, характеризует интенсивность теплообмена на границе твердое тело – жидкость)</i></p> <p>14. Для тела, участвующего в лучистом теплообмене с другими телами, согласно закону сохранения энергии, можно составить следующие уравнения теплового баланса: .</p> <p>15. Запишите закон Стефана-Больцмана. (Закон Стефана-Больцмана для поверхностной плотности потока интегрального излучения (Вт/м²) выражается следующим соотношением: , где - константа излучения. Для удобства практических расчетов последняя зависимость представляется в виде , где - излучательная способность (коэффициент излучения) абсолютно черного тела.)</p> <p>16. Вычислите плотность теплового потока через длинную плоскую однородную стенку, если она выполнена из бетона $\lambda = 1,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Толщина стенки $\delta = 50 \text{ мм}$. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными: $t_1 = 100^\circ\text{C}$ и $t_2 = 90^\circ\text{C}$. Решение: Ответ: $q = 220 \text{ Вт/м}^2$.</p> <p>17. Для многих материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры близка к линейной: , где - значение коэффициента теплопроводности при 0°C. Определите λ и α для изоляции, выполненной из асботермита, для которого $\lambda_0 = 0,109 + 0,000146 \cdot t$. Ответ: $\lambda = 0,109, \alpha = 0,0013394 \text{ Вт/м}^2$.</p> <p>18. Определить термический коэффициент сопротивления кирпичной стены помещения толщиной в два кирпича ($\delta = 510 \text{ мм}$) с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,8 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки $\alpha_1 = 7,5 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром, $\alpha_2 = 20 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$. Ответ: $R_{тер} = 1,22$. Решение: термический коэффициент сопротивления определяется по формуле: .</p> <p>19. Пользуясь графиками, выполните следующие расчеты: 1) при заданном числе $Nu = 6$ и числе $Pr = 0,5$ определите температуру в середине плоской пластины; 2) при заданной температуре на поверхности пластины $t_0 = 0,3$ и $Pr = 0,5$ определите продолжительность нагрева, т.е. τ; 3) при заданном числе $Nu = 3$ и температуре на оси цилиндра $t_0 = 0,05$ определите интенсивность теплоотдачи, т.е. q. Ответ: $q = 0,08, \tau = 3, \tau = 0,6$.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>20. Необходимо опытным путем определить распределение температур в длинном стальном вале диаметром $d = 400$ мм. Для стали коэффициент теплопроводности равен $\lambda = 42$ Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи к валу в печи $\alpha = 116$ Вт/(м²·°С). Исследование решено проводить в небольшой печи на геометрически подобной модели вала, выполненной из легированной стали. Для модели $\lambda = 16$ Вт/(м·°С); $\alpha = 150$ Вт/(м²·°С). Определить диаметр модели вала. Ответ: $d = 117,5$ мм; $t = 1735$ с. Решение: Подобие температурных полей вала и модели будет иметь место при равенстве αd для образца и модели. Критерии Био для вала равны: $Bi = \alpha d$. Из условия находим диаметр модели вала: $d = 117,5$ мм.</p> <p>21. Тонкая пластина длиной $L = 2$ м и шириной $b = 1,5$ м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно $u = 3$ м/с; $t_\infty = 20^\circ\text{C}$. Температура поверхности пластины $t_s = 90^\circ\text{C}$. Определить средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи. Ответ: $\alpha = 4,87$ Вт/(м²·°С). Решение: Для воздуха при $t_\infty = 20^\circ\text{C}$ $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·°С); $Pr = 0,703$. Число Рейнольдса $Re = 3,98 \cdot 10^5 < 5 \cdot 10^5$, следовательно, режим течения в пограничном слое ламинарный. В этих условиях средняя по длине теплоотдача может быть рассчитана по формуле $\alpha = 0,67 (3,98 \cdot 10^5)^{1/2} (0,703)^{1/3} = 375$ и коэффициент теплоотдачи $\alpha = 375 \cdot 2,59 \cdot 10^{-2} / 2 = 4,87$ Вт/(м²·°С).</p> <p>22. Плоская пластина длиной $L = 1$ м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха $u = 80$ м/с и $t_\infty = 10^\circ\text{C}$. Перед пластиной установлена турбулизирующая решетка, вследствие чего движение в пограничном слое на всей длине пластины турбулентное. Вычислить среднее значение коэффициента теплоотдачи с поверхности пластины. Ответ: Средний коэффициент теплоотдачи $\alpha = 202$ Вт/(м²·°С). Решение: При температуре набегающего потока $t_\infty = 10^\circ\text{C}$ физические свойства воздуха: $\nu = 14,16 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 2,51 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·°С). Число Рейнольдса $Re = 80 \cdot 1 / 14,16 \cdot 10^{-6} = 5,65 \cdot 10^6 > 5 \cdot 10^5$. Режим движения в пограничном слое на пластине турбулентный. Среднее значение коэффициента теплоотдачи при обтекании пластины воздухом для</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>турбулентного пограничного слоя можно вычислить по формуле . Подставив полученное значение числа Рейнольдса, получим $=0,032(5,65 \cdot 106)0,8=8050$ и $=8050 \cdot 2,51 \cdot 10^{-2}/1=202 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$.</p>
ОПК-2.3	<p>Анализирует и оценивает работоспособность предприятия (технических объектов, систем и процессов) с учетом социальных ограничений</p>	<p><i>Контрольные работы</i></p> <p><i>Вариант 1</i></p> <p>1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали $=650 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Температура поверхности под изоляцией $=400^\circ\text{C}$, температура внешней поверхности изоляции $=40^\circ\text{C}$. Определить толщину изоляции для случая, когда изоляция выполнена из диатомитовой крошки, для которой $=0,113+0,00023$.</p> <p>2. В нагревательной печи, где температура газов , стенка сделана из трех слоев: шамотного кирпича толщиной 70 мм, красного кирпича толщиной 250 мм и снаружи слоя изоляции толщиной . Воздух в цехе имеет температуру . Коэффициент теплоотдачи в печи от газов к стенке , снаружи от изоляции к воздуху . Найти коэффициент теплопередачи от газов к воздуху, потери теплоты через стенку, температуры на поверхностях всех слоев. Построить график температур в стенке.</p> <p><i>Вариант</i> <i>Материал</i> <i>изоляция</i> , мм , $^\circ\text{C}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ K})$ <i>Вариант</i> , $^\circ\text{C}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ K})$</p> <p>2 Шлаковата 90 30 30 б 1400 130</p> <p>3. Железобетонная дымовая труба внутренним диаметром $=800$ мм и наружным диаметром $=1300$ мм должна быть футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы из условий, чтобы тепловые потери с 1 м трубы не превышали $2000 \text{ Вт}/\text{м}$, а температура внутренней поверхности железобетонной стенки не превышала 200°C. Температура внутренней поверхности футеровки $=425^\circ\text{C}$; коэффициент теплопроводности футеровки $=0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.; коэффициент теплопроводности бетона $=1,1$</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>$Вт/(м \cdot ^\circ C)$.</p> <p>4. По стальному трубопроводу наружным диаметром \dots и толщиной 25 мм протекает газ со средней температурой \dots и коэффициентом теплоотдачи в трубе $=35 \text{ Вт}/(м^2 \text{ К})$. Снаружи труба покрыта двумя слоями изоляции: слоем А толщиной \dots (на поверхности трубы) и слоем Б толщиной \dots. На внешней поверхности изоляции температура \dots. Определить потери теплоты трубопроводом длиной \dots и температуру на поверхности контакта между слоями изоляции.</p> <p>Вари-ант Слои изоляции , мм , м , $^\circ C$ Вари- ант , м , $^\circ C$</p> <p>1 А – асбослюда, Б - бетон 1000 40 500 а 200 250 50</p> <p>Контрольная работа 1</p> <p>Вариант 2</p> <p>1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали $=600 \text{ Вт}/м^2$. Температура поверхности под изоляцией $=500^\circ C$, температура внешней поверхности изоляции $=45^\circ C$. Определить толщину изоляции для случая, когда изоляция выполнена из новоасбозурита, для которого $=0,144+0,00014$.</p> <p>2. В нагревательной печи, где температура газов \dots, стенка сделана из трех слоев: силикатного кирпича толщиной 40 мм, красного кирпича толщиной 350 мм и снаружи слоя изоляции толщиной \dots. Воздух в цехе имеет температуру \dots. Коэффициент теплоотдачи в печи от газов к стенке \dots, снаружи от изоляции к воздуху \dots. Найти коэффициент теплопередачи от газов к воздуху, потери теплоты через стенку, температуры на поверхностях</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>всех слоев. Построить график температур в станке.</p> <p>Вари-ант Материал изоляция , мм , 0С , Вт/(м² К) Вари ант , 0С , Вт/(м² К)</p> <p>1 Асбест 100 27 25 а 1500 120</p> <p>3. Железобетонная дымовая труба внутренним диаметром $d_{вн} = 800$ мм и наружным диаметром $d_{нар} = 1300$ мм должна быть футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы из условий, чтобы тепловые потери с 1 м трубы не превышали 2000 Вт/м, а температура внутренней поверхности железобетонной стенки не превышала 200°C. Температура внутренней поверхности футеровки $t_{фв} = 425^\circ\text{C}$; коэффициент теплопроводности футеровки $\lambda_{фв} = 0,5 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$.; коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_{б} = 1,1 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$.</p> <p>4. По стальному трубопроводу наружным диаметром $d_{нар}$ и толщиной 25 мм протекает газ со средней температурой $t_{ср}$ и коэффициентом теплоотдачи в трубе $\alpha = 35 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$. Снаружи труба покрыта двумя слоями изоляции: слоем А толщиной δ_A (на поверхности трубы) и слоем Б толщиной δ_B. На внешней поверхности изоляции температура $t_{вн}$. Определить потери теплоты трубопроводом длиной L и температуру на поверхности контакта между слоями изоляции.</p> <p>Вари-ант Слои изоляция , мм , м , 0С Вари- ант , м , 0С</p> <p>2 А – вермикулит, Б - асбест 1200 90 600 б 300 180 60</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p><i>Контрольная работа 2</i></p> <p><i>Вариант 1</i></p> <p>1. Определить время , необходимое для нагрева листа стали толщиной $\delta = 24$ мм, который имел начальную температуру $t_0 = 25^\circ\text{C}$, а затем был помещен в печь с температурой $t_{\text{печ}} = 600^\circ\text{C}$. Нагрев считать законченным, когда температура листа достигнет значения $t = 450^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность стали равны соответственно $\lambda = 45,4 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $c = 0,502 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$; $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, а коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha = 23,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$.</p> <p>2. Стальная пластина толщиной $\delta = 400$ мм нагревается в печи, имеющей постоянную температуру $t_{\text{печ}} = 800^\circ\text{C}$. Температура пластины в момент помещения ее в печь была всюду одинаковой и равной $t_0 = 30^\circ\text{C}$. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda = 37,2 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $a = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha = 200 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$. Определить среднюю безразмерную температуру в момент времени $\tau = 2$ часа. ()</p> <p>3. Длинный стальной вал диаметром $d = 120$ мм, который имел температуру $t_0 = 20^\circ\text{C}$, был помещен в печь с температурой $t_{\text{печ}} = 820^\circ\text{C}$. Определить значения температур на поверхности и на оси вала по истечении 40 мин после загрузки вала в печь. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda = 21 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $a = 6,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha = 140 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$.</p> <p>4. Стальная цилиндрическая болванка диаметром $d = 620$ мм, которая имела температуру $t_0 = 600^\circ\text{C}$, охлаждается в среде с постоянной температурой $t_{\text{ср}} = 20^\circ\text{C}$. Определить количество теплоты Q, которое будет отдано цилиндром окружающей среде через 2,8 часа после начала охлаждения с 1 м длины болванки. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности и плотности стали равны соответственно $\lambda = 49 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; $a = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha = 160 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$. (, где изменение энтальпии ΔH и средняя безразмерная температура $\theta_{\text{ср}}$ при $\tau = 0,25$.)</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p><i>Контрольная работа 2</i></p> <p><i>Вариант 2</i></p> <p>1. Лист стали толщиной $\delta = 30$ мм, имеющий начальную температуру $t_0 = 20^\circ\text{C}$, помещен в печь с температурой $t_{\text{печ}} = 620^\circ\text{C}$ и нагревается до температуры $t = 420^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность стали равны соответственно $\lambda = 45 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; $c = 500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; $\rho = 7800 \text{ кг}/\text{м}^3$, а коэффициент теплоотдачи к поверхности листа $\alpha = 22 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$. Определить время τ, необходимое для нагревания листа стали.</p> <p>2. Стальной лист толщиной 30 мм (теплоемкость $c = 0,42 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, плотность $\rho = 7000 \text{ кг}/\text{м}^3$) нагрет до 400°C и охлаждается в воздухе с температурой $t_{\text{возд}} = 10^\circ\text{C}$ при коэффициенте теплоотдачи $\alpha = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$. Через сколько часов температура листа на поверхности будет на 11°C отличаться от температуры воздуха? Сколько теплоты будет отдано с 1 м^2 листа за время охлаждения?</p> <p>3. Длинный стальной вал диаметром $d = 140$ мм, который имел температуру $t_0 = 25^\circ\text{C}$, был помещен в печь с температурой $t_{\text{печ}} = 720^\circ\text{C}$. Определить значения температур на поверхности и на оси вала по истечении 80 мин после загрузки вала в печь расчетным путем и с помощью графиков. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали равны соответственно $\lambda = 20 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; $a = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала $\alpha = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$.</p> <p>4. Колонна радиусом $r = 0,15$ м из бетона с начальной температурой $t_0 = 30^\circ\text{C}$ охлаждается в воздухе с постоянной температурой $t_{\text{возд}} = -10^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи равен $\alpha = 4,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Найти температуры на поверхности, на оси колонны и на радиусе 10 см через 5 ч после начала охлаждения. Принять для бетона плотность $\rho = 1700 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплоемкость $c = 700 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Определить количество теплоты, которая будет отдана воздуху 1 м длины колонны за 5 ч процесса охлаждения.</p>

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теплофизика» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Показатели и критерии оценивания зачета:

– на оценку «зачтено» – обучающийся показывает пороговый уровень сформированности компетенций, т.е. знает основные понятия термодинамики и теплофизики, может проводить расчеты для основных типов оборудования и узлов;

– «незачтено» – результат обучения не достигнут, обучающийся не может показать знание основных понятий термодинамики и теплофизики, не может решать типовые задачи по расчету узлов применяемого оборудования.