Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 23.09.2023 14:57:06
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет урбанистики и городского хозяйства

УТВЕРЖДАЮ

Декан

_____ /К.И. Лушин/

«16» февраля 2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Тепломассообмен»

Направление подготовки

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль

Интеллектуальные тепловые энергосистемы

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная и заочная

Москва, 2023 г.

Разработчик(и):

Зав. каф., к.т.н., доц. _____ / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

Ст. преп., б/с, б/з _____ / И.Л. Савельев /
И.О. Фамилия

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», к.т.н., доцент _____ / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине ... 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы ... 5
3. Структура и содержание дисциплины ... 5
   - 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость ... 5
   - 3.2 Тематический план изучения дисциплины ... 6
   - 3.3 Содержание дисциплины ... 8
   - 3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий ... 12
   - 3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ) ... 13
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение ... 13
   - 4.1 Нормативные документы и ГОСТы ... 13
   - 4.2 Основная литература ... 13
   - 4.3 Дополнительная литература ... 14
   - 4.4 Электронные образовательные ресурсы ... 14
   - 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение ... 14
   - 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы ... 15
5. Материально-техническое обеспечение ... 15
6. Методические рекомендации ... 15
   - 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения ... 15
   - 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины ... 16
7. Фонд оценочных средств ... 16
   - 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения ... 16
   - 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения ... 17
   - 7.3 Оценочные средства ... 19

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Тепломассообмен» следует отнести:

– формирование знаний о современных законах переноса энергии и массы, об основных теплотехнологических и теплофизических параметрах тепломассообменных аппаратов и установок;

– изучение способов повышения эффективности процессов переноса энергии и массы, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи расчета и проектирования тепломассообменных аппаратов и установок;

– подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов расчета и проектирования тепломассообменных аппаратов и установок.

К основным задачам освоения дисциплины «Тепломассообмен» следует отнести:

– выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи определения и оценки теплотехнических и теплофизических параметров тепломассообменных аппаратов и установок;

– научить мыслить системно на примерах повышения энергетической эффективности тепломассообменных аппаратов и установок с учетом теплофизических и теплотехнических характеристик;

– научить анализировать существующие методы расчета тепломассообменных аппаратов и установок, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их структуре с позиций повышения эффективности и энергосбережения;

– дать информацию о новых методах расчета тепломассообменных аппаратов и установок в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки таких методов, как отечественных, так и зарубежных;

– научить анализировать результаты расчета тепломассообменных аппаратов и установок, производить поиск оптимизационного решения с помощью всевозможных методов фундаментальной и прикладной науки.

Обучение по дисциплине «Тепломассообмен» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ИОПК-3.1. Применяет математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов; ИОПК-3.2. Применяет математический аппарат теории функции нескольких переменных, теории функций комплексного переменного, теории рядов, теории дифференциальных уравнений; ИОПК-3.3. Применяет математический аппарат теории вероятностей и математической статистики; ИОПК-3.4. Применяет математический аппарат численных методов;

	ИОПК-3.5. Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач;
ОПК-4. Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИОПК-4.1. Демонстрирует понимание основных законов механики жидкости и газа и применяет их для расчета элементов теплотехнических установок и систем; ИОПК-4.3. Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к числу профессиональных учебных дисциплин базовой части основной образовательной программы бакалавриата.

«Тепломассообмен» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

В части цикла дисциплин базовой части:

– Общие вопросы энергетики;
– Гидрогазодинамика;
– Физика;
– Техническая термодинамика.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **7** зачетных(е) единиц(ы) (**252** часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Кол-во часов	Семестры	
			3	4
1	**Аудиторные занятия**	**126**	**54**	**72**
	В том числе:			
1.1.	Лекции	**36**	18	18
1.2.	Семинарские/практические занятия	72	36	36
1.3.	Лабораторные занятия	18	0	18
2	**Самостоятельная работа**	**126**	**54**	**72**
	В том числе:			
2.1.	Тестирование	**40**	20	20
2.2.	Подготовка к курсовому проекту	**22**		22
2.3.	Самостоятельное изучение	**64**	34	30
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен		**Зачёт**	**Экзамен**
	Итого	**252**	**108**	**144**

3.1.2. Заочная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Кол-во часов	Семестры	
			4	5
1	**Аудиторные занятия**	**42**	**24**	**18**
	В том числе:			
1.1.	Лекции	10	6	4
1.2.	Семинарские/практические занятия	32	18	14
1.3.	Лабораторные занятия	0	0	0
2	**Самостоятельная работа**	210	84	126
	В том числе:			
2.1.	Тестирование	**40**	20	20
2.2.	Подготовка к курсовому проекту	**22**		22
2.3.	Самостоятельное изучение	**148**	64	84
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен		**Зачёт**	**Экзамен**
	Итого	**252**	**108**	**144**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы п/п дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
3 семестр							
1	Раздел 1. Введение	2,5	0,5	0	0	0	2
2	Раздел 2. Теплопроводность	9,5	1,5	4	0	0	4
3	Раздел 3. Закон Фурье	8	2	2	0	0	4
4	Раздел 4. Конвективный теплообмен	8		4	0	0	4
5	Раздел 5. Основы теории подобия	10	2	4	0	0	4
6	Раздел 6. Раздел уравнений конвективного тепломассообмена	6		2	0	0	4
7	Раздел 7. Уравнения неразрывности и диффузии	8	2	2	0	0	4
8	Раздел 8. Методы теории подобия и анализа размерностей в задачах конвективного теплообмена	6		2	0	0	4
9	Раздел 9. Сложный теплообмен	12	2	4	0	0	6
10	Раздел 10. Теплообмен при вынужденном течении в каналах и трубах	12	2	4	0	0	6
11	Раздел 11. Теплообмен при поперечном обтекании труб и пучков	12	2	4	0	0	6

№ п/п	Разделы/темы п/п дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
12	Раздел 12. Основы выбора теплообменников теплоэнергетических установок	10	2	2	0	0	6
13	Раздел 13. Классификация рекуперативных теплообменников	10	2	2	0	0	6
4 семестр							
14	Раздел 14. Конденсация	30	4	10	0	0	16
15	Раздел 15. Кипение	50	6	10	18	0	16
16	Раздел 16. Радиационный теплообмен	28	4	8	0	0	16
17	Раздел 17. Основы выбора и расчёта теплообменных аппаратов	30	4	8	0	0	18
Итого		**252**	**36**	**72**	**18**	**0**	**126**

3.2.2. Заочная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы п/п дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
4 семестр							
1	Раздел 1. Введение	6	4	4	0	0	2
2	Раздел 2. Теплопроводность	8			0	0	8
3	Раздел 3. Закон Фурье	8			0	0	8
4	Раздел 4. Конвективный теплообмен	8			0	0	8
5	Раздел 5. Основы теории подобия	8			0	0	8
6	Раздел 6. Раздел уравнений конвективного тепломассообмена	10		6	0	0	8
7	Раздел 7. Уравнения неразрывности и диффузии	8			0	0	8
8	Раздел 8. Методы теории подобия и анализа размерностей в задачах конвективного теплообмена	8			0	0	8
9	Раздел 9. Сложный теплообмен	8			0	0	8

№ п/п	Разделы/темы п/п дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
10	Раздел 10. Теплообмен при вынужденном течении в каналах и трубах	12	2	4	0	0	8
11	Раздел 11. Теплообмен при поперечном обтекании труб и пучков	10			0	0	8
12	Раздел 12. Основы выбора теплообменников теплоэнергетических установок	12		4	0	0	10
13	Раздел 13. Классификация рекуперативных теплообменников	12			0	0	10
5 семестр							
14	Раздел 14. Конденсация	36	1	4	0	0	32
15	Раздел 15. Кипение	36	1	4	0	0	32
16	Раздел 16. Радиационный теплообмен	37,5	1,5	4	0	0	32
17	Раздел 17. Основы выбора и расчёта теплообменных аппаратов	32,5	0,5	2	0	0	30
Итого		**252**	**10**	**32**	**0**	**0**	**210**

3.3 Содержание дисциплины

3 Семестр

Раздел 1. Введение

Общая информация по дисциплине «Тепломассообмен»

Раздел 2. Теплопроводность

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий. Одномерные стационарные задачи теплопроводности. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Сферическая стенка. Теплопередача. Критический диаметр изоляции. Принципы интенсификации теплопередачи. Интенсификация посредством оребрения. Теплопроводность вдоль стержня. Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты. Плоское тело. Цилиндрическое тело. Нестационарная теплопроводность. Дифференциальные уравнения и краевые условия. Пластина. Цилиндр. Нестационарная теплопроводность тел, образованных пересечением пластин и цилиндров. Численные методы теплопроводности. Метод контрольного объема для получения конечно-разностных аппроксимаций уравнения теплопроводности. Явные и неявные численные методы. Метод прогонки. Обзор математических пакетов для численного анализа.

Раздел 3. Закон Фурье

Закон Фурье — это закон термодинамики, который описывает передачу теплоты между двумя телами. Он гласит, что количество теплоты, которое передается от горячего тела к холодному, пропорционально разнице температур между ними и площади поверхности, через которую происходит теплообмен. Закон Фурье используется для расчета теплового потока в

различных системах, таких как теплообменники, системы охлаждения и отопления, а также в научных исследованиях.

Раздел 4. Конвективный теплообмен

Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия. Автомодельные переменные. Интегрирование уравнения Фолкнера - Скэн для пограничных слоев. Интегрирование уравнения теплового пограничного слоя. Интегрирование уравнений свободноконвективных пограничных слоев. Интегральный метод решения задач пограничного слоя. Законы трения, теплообмена, массообмена. Стандартные законы. Условия ламинарно-турбулентного перехода. Расчёт теплоотдачи при различных тепловых граничных условиях на обтекаемой поверхности. Расчётные модели турбулентности в задачах конвективного теплообмена. Модели пути смешения. Дифференциальное уравнение переноса турбулентной энергии. Численное моделирование конвективного тепломассообмена и универсальные программные пакеты.

Раздел 5. Основы теории подобия

Основы теории подобия включают в себя изучение методов и принципов, которые используются для анализа и моделирования процессов тепломассообмена. Они помогают инженерам и ученым понять, как различные процессы работают и как они могут быть улучшены или оптимизированы.

Основные принципы теории подобия:

Принцип подобия - подобие процессов означает, что процессы, происходящие в разных системах, могут быть описаны с помощью одного уравнения, если они имеют одинаковые геометрические и физические параметры.

Принцип суперпозиции - если в системе происходят несколько процессов, то их можно рассматривать как суперпозицию отдельных процессов.

Принцип размерности - размерность физических величин, участвующих в процессе, должна быть одинаковой.

Основы теории подобия также включают в себя методы моделирования процессов, такие как метод размерностей, метод подобия, метод интегральных соотношений и метод анализа размерностей. Эти методы позволяют анализировать и моделировать процессы тепломассообмена в различных условиях и получать точные результаты.

Раздел 6. Раздел уравнений конвективного тепломассообмена

Уравнения конвективного теплообмена описывают процессы передачи теплоты и массы между жидкостью или газом и поверхностью. Они используются для расчета температуры и других параметров в различных технологических процессах, таких как охлаждение, нагрев и сушка. Уравнения конвективного теплообмен включают в себя уравнения Ньютона-Стокса, уравнения Навье-Стокса и уравнения теплопроводности. Они позволяют рассчитывать распределение температуры, скорости потока и других параметров внутри жидкости или газа.

Раздел 7. Уравнения неразрывности и диффузии

Уравнения неразрывности и диффузии являются основными уравнениями в области гидродинамики и теплопередачи. Они описывают законы сохранения массы и энергии в движущихся средах. Уравнение неразрывности описывает закон сохранения массы в движущейся среде среды.

Уравнение диффузии описывает закон сохранения количества вещества в среде. Эти уравнения используются в различных областях науки и техники, таких как аэродинамика, теплопередача, химическая технология и др.

Раздел 8. Методы теории подобия и анализа размерностей в задачах конвективного теплообмена

Методы теории подобия и анализа размерностей широко применяются в задачах конвективного теплообмена для упрощения и анализа сложных процессов. Они позволяют использовать общие закономерности для различных условий и объектов, что упрощает расчеты и повышает точность результатов. Метод подобия основан на принципе подобия процессов, который утверждает, что два процесса, имеющие одинаковые геометрические и физические характеристики, будут иметь одинаковые закономерности и характеристики. Этот метод позволяет использовать результаты, полученные для одного процесса, для других процессов с аналогичными характеристиками.

Раздел 9. Сложный теплообмен

Сложный теплообмен — это процесс передачи теплоты между несколькими телами, которые могут быть как твердыми, так и жидкими или газообразными. Этот процесс может происходить как в естественных условиях (например, в природе), так и в технологических процессах (например, при производстве товаров). Сложный теплообмен включает в себя множество факторов, таких как температура, плотность, вязкость, теплопроводность и теплоемкость тел, а также скорость и направление движения потоков. Для расчета сложного теплообмена необходимо учитывать все эти факторы и использовать специальные методы и программы.

Раздел 10. Теплообмен при вынужденном течении в каналах и трубах

Теплообмен при вынужденном движении в каналах и трубах является важным процессом в различных технических приложениях, таких как тепловые насосы, теплообменники, кондиционеры и т.д. В этом процессе тепло передается от одной жидкости или газа к другой через стенки канала или трубы. Для расчета теплообмена при вынужденном движении используется уравнение Ньютона-Рихмана, которое связывает тепловой поток с температурой, скоростью потока и другими параметрами. Также важную роль играют геометрические характеристики канала или трубы, такие как длина, площадь поперечного сечения и форма. В зависимости от условий задачи, могут использоваться различные методы расчета теплообмена, такие как методы конечных разностей, интегральные методы, методы граничных элементов и т.д. Все эти методы имеют свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от конкретной задачи и доступных ресурсов.

Раздел 11. Теплообмен при поперечном обтекании труб и пучков

Теплообмен при поперечном обтекании труб или пучков является важным процессом, который используется в различных технических устройствах, таких как холодильники, конденсаторы, радиаторы и т.д. При этом тепло передается от жидкости или газа, движущегося вдоль труб или пучков, к окружающей среде через стенки труб. Расчет теплообмена при поперечном обтекании труб или пучков основывается на уравнениях конвективного теплообмена и учитывает такие параметры, как скорость потока, температура жидкости или газа и окружающей среды, а также геометрические характеристики труб или пучков. Существует несколько методов расчета теплообмена при поперечном обтекании, включая метод конечных элементов, метод пограничного слоя и метод теплового сопротивления. Выбор метода зависит от конкретных условий задачи и требуемой точности расчета.

Раздел 12. Основы выбора теплообменников теплоэнергетических установок

Выбор теплообменников для теплоэнергетических установок является важным этапом проектирования и эксплуатации систем теплообмена. Вот несколько основных критериев, которые следует учитывать при выборе теплообменника:

Тепловая мощность: теплообменник должен иметь достаточную тепловую мощность для обеспечения требуемого уровня теплообмена между двумя средами.

Рабочее давление: выбор теплообменника должен учитывать рабочее давление в системе, чтобы обеспечить безопасность и эффективность работы.

Материал изготовления: материал теплообменника должен быть устойчивым к воздействию высоких температур и давлений, а также обладать высокой теплопроводностью.

Размер и форма: размер и форма теплообменника должны соответствовать размерам и конфигурации системы, чтобы обеспечить оптимальную теплопередачу.

Стоимость: стоимость теплообменника должна соответствовать бюджету проекта и быть конкурентоспособной на рынке.

Надежность: теплообменник должен быть надежным и долговечным, чтобы обеспечивать бесперебойную работу системы.

Экологические требования: выбор теплообменника также должен учитывать экологические требования, такие как снижение выбросов парниковых газов и уменьшение потребления ресурсов.

Раздел 13. Классификация рекуперативных теплообменников

В раздел «Классификация рекуперативных теплообменников» входят следующие темы:

– Основные типы рекуперативных теплообменников и их характеристики.

– Принципы работы рекуперативных теплообменников.

– Классификация рекуперативных теплообменников по различным параметрам, таким как тип теплоносителя, материал теплообмена, способ передачи тепла и т.д.

– Применение различных типов рекуперативных теплообменников в различных отраслях промышленности и технологий.

– Оценка эффективности рекуперативных теплообменников и методы ее повышения.

– Примеры реальных проектов рекуперативных теплообменников, их особенности и преимущества.

4 Семестр

Раздел 14. Конденсация

Конденсация — это процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое или твердое при охлаждении. В разделе «Конденсация» можно найти информацию о следующих темах: Физические свойства конденсации: температура, давление, скорость конденсации и другие параметры. Методы конденсации: использование различных материалов для конденсации, такие как испарители, конденсаторы и т.д. Применение конденсации в различных областях, таких как промышленность, медицина, технологии и т.п. Влияние окружающей среды на процесс конденсации. Практические аспекты конденсации, включая выбор оборудования, управление процессами и т.д.

Раздел 15. Кипение

Физические и химические свойства кипящей жидкости. Механизмы образования пузырьков пара и их движения. Влияние различных факторов на скорость кипения (например, температура, давление, концентрация раствора и т.д.). Применение кипящей жидкости в различных областях науки и техники (например, в металлургии, пищевой промышленности, медицине и др.). Экспериментальные методы изучения процесса кипения. Математические модели, описывающие процесс кипения.

Раздел 16. Радиационный теплообмен

Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения. Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно чёрного тела. Излучение и поглощение нечёрных тел. Теплообмен излучением в прозрачной среде. Понятие углового коэффициента излучения. Расчет угловых коэффициентов. Замкнутая система поверхностей. Аналитические решения для простых систем. Примеры, приложения. Радиационные и конвективные тепловые потоки. Граничные условия. Задача о радиационных заморозках. Задача об экранных поверхностях нагрева. Компьютерное моделирование. Теплообмен излучением в системе с излучающим и поглощающим газом. Расчет излучения и поглощения газов. Уравнение переноса излучения. Замкнутая система поверхностей. Радиационно-конвективный теплообмен в камере сгорания. Компьютерное моделирование.

Раздел 17. Основы выбора и расчёта теплообменных аппаратов

Расчёт теплоотдачи в элементах теплообменных устройств. Методы подобия и размерностей. Теплоотдача при продольном обтекании пластины. Теплоотдача в поперечно-обтекаемых пучках труб. Теплоотдача в трубах. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах. Теплообмен и сопротивление при продольном обтекании пучков труб. Теплоотдача при свободной конвекции. Интенсификация теплообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Основные соотношения для расчёта теплообменников. Типы теплообменников и схемы движения теплоносителей. Изменение температур теплоносителей и средний температурный напор для прямотока, противотока и перекрестного тока. Эффективность теплообменника. Тепловой и гидравлический расчёт теплообменников. Методы интенсификации теплопередачи. Методы оценки энергетической эффективности теплообменников.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия
Семинарское занятие 1. Основные положения
Семинарское занятие 2. Работа с HS диаграммой
Семинарское занятие 3. Построение процессов в HS диаграмме
Семинарское занятие 4. Построение циклов в HS диаграмме
Семинарское занятие 5. Теплопроводность в однослойной плоской стенке
Семинарское занятие 6. Теплопроводность в многослойной плоской стенке
Семинарское занятие 7. Теплопроводность в однослойной цилиндрической стенке
Семинарское занятие 8. Теплопроводность в многослойной цилиндрической стенке
Семинарское занятие 9. Теплопроводность для оребренной плоской стенки
Семинарское занятие 10. Теплопроводность для оребренной цилиндрической стенки
Семинарское занятие 11. Свободная конвекция
Семинарское занятие 12. Свободная конвекция
Семинарское занятие 13. Вынужденная конвекция
Семинарское занятие 14. Вынужденная конвекция
Семинарское занятие 15. Теплообмен при течении жидкости в трубах
Семинарское занятие 16. Теплообмен при течении жидкости в трубах
Семинарское занятие 17. Теплообмен при обтекании трубного пучка
Семинарское занятие 18. Теплообмен при обтекании трубного пучка
Семинарское занятие 19. Теплообмен при конденсации
Семинарское занятие 20. Теплообмен при конденсации
Семинарское занятие 21. Теплообмен при конденсации
Семинарское занятие 22. Теплообмен при конденсации
Семинарское занятие 23. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 24. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 25. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 26. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 27. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 28. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 29. Теплообмен при кипении
Семинарское занятие 30. Радиационный теплообмен
Семинарское занятие 31. Радиационный теплообмен
Семинарское занятие 32. Основы расчёта теплообменного аппарата
Семинарское занятие 33. Расчёт водо-водяного теплообменного аппарата
Семинарское занятие 34. Расчёт конденсатора

Семинарское занятие 35. Расчёт испарительного теплообменного аппарата
Семинарское занятие 36. Расчёт теплообменного аппарата со сложным теплообменом

3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторная работ 1-9. «Изучение процессов кипения в большом объёме»

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Расчёт рекуперативного теплообменного аппарата

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 34060-2017 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проведения и контроль выполнения работ.
2. ГОСТ Р 59501-2021 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка систем отопления. Правила и контроль выполнения работ.
3. ГОСТ Р 59510-2021 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий. Правила и контроль выполнения работ.
4. ГОСТ Р 70095-2022 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка систем холодоснабжения. Правила и контроль выполнения работ.
5. ГОСТ Р 59135-2020 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка систем горячего и холодного водоснабжения. Правила и контроль выполнения работ.
6. ГОСТ 34058-2021 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка, техническое обслуживание и ремонт испарительных и компрессорно-конденсаторных блоков бытовых систем кондиционирования. Правила и контроль выполнения работ.
7. ГОСТ Р 70100-2022 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка систем воздушного отопления складских зданий. Правила и контроль выполнения работ.
8. ГОСТ Р 70093-2022 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка систем кондиционирования с переменным расходом хладагента. Правила и контроль выполнения работ.
9. РД 34.70.110-92 Правила организации пусконаладочных работ на тепловых электростанциях.

4.2 Основная литература

1. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
2. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
3. Справочник по теплообменникам, т. 2 / пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

4. Бакластов А.М. Промышленные тепломассообменные процессы и установки / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.Л. Данилов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.

5. Михатулин Д.С., Чирков А.Ю. Конспект лекций по тепломассообмену, Москва 2009 – 113с.

6. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: учебное пособие / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. — 2-е изд., исправ. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 196 с., ил.

7. Корнеев С. Д., Савельев И. Л. Расчет и конструирование рекуперативного теплообменника: учебно-методическое пособие. – М: Московский политех, 2019. – 54с.

4.3 Дополнительная литература

1. Брюханов О.Н., Коробков В.И., Мелик-Аракелян А.Т. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 254с.

2. Болгарский А.В. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. Учебное пособие для авиационных вузов. М. «Высш. Школа», 1972. – 304с., ил.

3. Костерев Ф.М., Кушнырев В. И, Теоретические основы теплотехники: Учебник для энергетических и энергостроительных техникумов. – М.: Энергия, 1978. – 360с., ил.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Проведение занятий и аттестаций возможно в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS) на основе разработанных кафедрой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем разделам программы:

Название ЭОР	
Тепломассообмен	https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=536
Тепломассообмен (часть 2)	https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=3652

Разработанный ЭОР включают промежуточный и итоговый тесты.

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Каждый студент обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронным библиотекам университета *(*http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog*)*.

Ссылка на электронную библиотеку:
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=7621&section=1

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. МойОфис – российская компания-разработчик безопасных офисных решений для общения и совместной работы с документами (Альтернатива MS Office) https://myoffice.ru/
2. Платформа nanoCAD – это российская платформа для проектирования и моделирования объектов различной сложности. Поддержка форматов *.dwg и IFC делает ее отличным решением для совмещения САПР- и BIM-технологий. Функционал платформы может быть расширен с помощью специальных модулей https://www.nanocad.ru/support/education/
3. Система трехмерного моделирования «КОМПАС-3D» https://edu.ascon.ru/main/download/freeware/
4. VALTEC.PRG.3.1.3. Программа для теплотехнических и гидравлических расчетов https://valtec.ru/document/calculate/

5. Онлайн расчеты АВОК-СОФТ https://soft.abok.ru/help_desk/

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Российская национальная библиотека http://www.nlr.ru
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php
3. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru
4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru
5. Образовательная платформа ЮРАЙТ http://www.urait.ru
6. «Техэксперт» – справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию https://техэксперт.сайт/
7. НП «АВОК» – помощник инженера по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике https://www.abok.ru/
8. Е-ДОСЬЕ – Электронный эколог. Независимая информация о российских организациях, база нормативных документов и законодательных актов https://e-ecolog.ru/
9. Инженерная сантехника VALTEC (каталог продукции и нормативная документация) https://valtec.ru/

5. Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные компьютерами, интерактивными досками, мультимедийными проекторами и экранами: АВ2404, АВ2415 и аудитории общего фонда. Для проведения семинарских и лабораторных работ используются аудитории: АВ2406, АВ1101 и аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательном комплексе «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

6.1.1 Преподаватель организует преподавание дисциплины в соответствии с требованиями «Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете и его филиалах», утверждённым ректором университета.

6.1.2 На первом занятии преподаватель доводит до сведения студентов содержание рабочей программы дисциплины (РПД).

6.1.3 Преподаватель особенно обращает внимание студентов на:

- виды и формы проведения занятий по дисциплине, включая порядок проведения занятий с применением технологий дистанционного обучения и системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха);
- виды, содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости в соответствии с фондом оценочных средств;
- форму, содержание и порядок проведения промежуточной аттестации в соответствии с фондом оценочных средств, предусмотренным РПД.

6.1.4 Преподаватель доводит до сведения студентов график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД.

6.1.5 Преподаватель рекомендует студентам основную и дополнительную литературу.

6.1.6 Преподаватель предоставляет перед промежуточной аттестацией (экзаменом или зачётом) список вопросов для подготовки.

6.1.7 Преподаватели, которые проводят лекционные и практические (семинарские) занятия, согласуют тематический план практических занятий, чтобы использовать единую систему обозначений, терминов, основных понятий дисциплины.

6.1.8 При подготовке к семинарскому занятию по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, согласно РПД, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем вопросов по теме семинара.

В ходе семинара во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы семинарского занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. Использовать фронтальный опрос давая возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части семинарского занятия следует подвести итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенного семинарского занятия. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

6.1.9 Целесообразно в ходе защиты рефератов, лабораторных работ, курсовых работ и проектов задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха).

6.1.10 Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

6.2.1 Студенту необходимо составить для себя график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД с учётом требований других дисциплин, изучаемых в текущем семестре.

6.2.2 При проведении занятий и процедур текущей и промежуточной аттестации с использованием инструментов информационной образовательной среды дистанционного образования университета (СДО Московского Политеха), как во время контактной работы с преподавателем, так и во время самостоятельной работы студент должен обеспечить техническую возможность дистанционного подключения к системам дистанционного обучения. При отсутствии такой возможности обсудить ситуацию с преподавателем дисциплины.

6.2.3 К промежуточной аттестации допускаются только обучающиеся, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины (РПД).

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Контроль успеваемости и качества подготовки проводится в соответствии с требованиями "Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете".

Для контроля успеваемости и качества освоения дисциплины настоящей программой предусмотрены следующие виды контроля:

– контроль текущей успеваемости (текущий контроль);

– промежуточная аттестация.

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

– доклад по теме: «Методы испытаний и наладки технологического оборудования» (индивидуально для каждого обучающегося);

– подготовка и выступление на семинарском занятии с докладом и обсуждением;

– тест, экзамен.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины – защита докладов, решение задач.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачет», «не зачет».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Тепломассообмен».

Шкала оценивания	Описание
Зачет	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Не зачет	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Тепломассообмен».

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложении к рабочей программе.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Для проведения текущего контроля применяются следующие формы: разноуровневые задачи и задания; доклад, сообщение; устный опрос, собеседование; тест.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится на соответствующих формам обучения семестрах в форме экзамена.

Экзамен проводится по билетам, ответы предоставляются письменно с последующим устным собеседованием. Билеты формируются из вопросов представленного ниже перечня. В билет включается два вопроса из разных разделов дисциплины и одно практическое задание. Перечень вопросов соответствует темам, изученным на лекционных и семинарских занятиях (прилагается). Время на подготовку письменных ответов – до 40 мин, устное собеседование – до 10 минут.

7.3.3. Список экзаменационных вопросов по дисциплине

1. Роль тепломассообмена в современной науке и технике.
2. Основные положения теплопроводности.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
4. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку без внутренних источников тепла.
5. Стационарная теплопередача через плоскую стенку без внутренних источников тепла.
6. Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла.
7. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки без внутренних источников тепла.
8. Стационарная теплопередача цилиндрической стенки без внутренних источников тепла.
9. Критический диаметр изоляции.
10. Теплопроводность цилиндрической стенки при наличии внутренних источников тепла.
11. Пути интенсификации теплопередачи. Виды ребристых поверхностей.
12. Расчет теплоотдачи от прямоугольных, треугольных, круглых ребер.
13. Нестационарные процессы теплопроводности в бесконечной тонкой пластине.
14. Решение нестационарного дифференциального уравнения теплопроводности.
15. Анализ решения нестационарного уравнения теплопроводности для пластины в зависимости от чисел Био и Фурье.
16. Нестационарные процессы теплопроводности в бесконечном цилиндре, шаре.
17. Определение количества теплоты в нестационарных процессах теплопроводности.
18. Тела конечных размеров в процессах нестационарной теплопроводности.
19. Регулярный режим охлаждения тел. Теоремы Кондратьева.
20. Применение регулярного режима для определения теплофизических свойств.
21. Основные положения конвективного теплообмена в однофазной среде.
22. Теплофизические свойства жидкостей.
23. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.

7.3.4. Пример задания для курсового проектирования

№ вар	Греющий теплоноситель	t_1', ^{0}C	t_1'', ^{0}C	Нагреваемый теплоноситель	t_2', ^{0}C	t_2'', ^{0}C	G_2, кг/с
1	Вода	85	65	Вода	14	24	3,7
2	Вода	85	67	Вода	14	26	2,8
3	Вода	85	69	Вода	14	28	2,6
4	Вода	85	71	Вода	14	30	2,4
5	Вода	95	80	Вода	12	34	3,1
6	Вода	95	78	Вода	12	32	3,2
7	Вода	95	76	Вода	12	30	3,3
8	Вода	95	74	Вода	12	28	3,4
9	Вода	95	72	Вода	12	26	3,5
10	Вода	95	70	Вода	12	24	3,8
11	Вода	95	74	Вода	12	22	2,4
12	Вода	80	58	Вода	10	34	2,8
13	Вода	80	60	Вода	10	32	3
14	Вода	80	62	Вода	10	30	3,2
15	Вода	80	64	Вода	10	28	3,4
16	Вода	80	66	Вода	10	26	3,6
17	Вода	80	68	Вода	10	24	3,8
18	Вода	80	70	Вода	10	22	4
19	Вода	100	88	Вода	15	30	2,7
20	Вода	100	86	Вода	15	32	2,6
21	Вода	100	84	Вода	15	34	2,5
22	Вода	100	82	Вода	15	36	2,4
23	Вода	100	80	Вода	15	38	2,2
24	Вода	100	78	Вода	15	40	2,1
25	Вода	90	80	Вода	20	35	2,7
26	Вода	90	78	Вода	20	37	2,6
27	Вода	90	76	Вода	20	39	2,5
28	Вода	90	74	Вода	20	43	2,4
29	Вода	90	72	Вода	20	45	2,2
30	Вода	90	70	Вода	20	47	2,1