

БАКАЛАВРИАТ

Ю.П. Семенов

ОСНОВЫ ТЕПЛОМАССООБМЕНА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com



Ю.П. СЕМЕНОВ

ОСНОВЫ ТЕПЛОМАССОБМЕНА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано Учебно-методическим советом ВО в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (квалификация (степень) «бакалавр»)

**Электронно-
Библиотечная**

znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2019

УДК 536.24+66.01(075.8)

ББК 31.3я73

С30

Автор:

Юрий Павлович Семенов, доктор технических наук по специальности «Теплофизика и теоретическая теплотехника», профессор кафедры теплотехники, профессор Мытищинского филиала Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, заслуженный работник Высшей школы

Рецензенты:

Гаряев А.Б., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепломассообменные процессы и установки» Национального исследовательского университета «МЭИ»;

Рудобахта С.П., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий» Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева

Семенов Ю.П.

С30

Основы тепломассообмена : учеб. пособие / Ю.П. Семенов. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 246 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5b4c72d22046e3.77590088.

ISBN 978-5-16-013601-1 (print)

ISBN 978-5-16-106263-0 (online)

В учебном пособии изложены основные положения теории тепломассообмена в объеме, предусмотренном учебным планом дисциплины. Рассматриваются физическая сущность процессов тепломассообмена, математическое описание и получение зависимостей для их расчета. Материал иллюстрируется примерами решения практических задач. Во всех главах приведены контрольные вопросы и задания. Для более глубокого освоения учащимися курса в процессе самостоятельной работы в пособие включен практикум, содержащий набор задач по всем разделам, примеры заданий тестовой проверки и рекомендуемые темы рефератов и докладов. В приложениях даны справочная информация, правильные ответы к приведенным в практикуме задачам и примерам заданий тестирования.

Соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования последнего поколения.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» на основе рабочей программы дисциплины «Тепломассообмен». Пособие может быть использовано также при подготовке магистров по направлениям, связанным с технологиями термической обработки различных материалов.

УДК 536.24+66.01(075.8)

ББК 31.3я73

ISBN 978-5-16-013601-1 (print)

ISBN 978-5-16-106263-0 (online)

© Семенов Ю.П., 2019

Оглавление

Предисловие.....	3
Глава 1. Общие положения теории теплообмена	7
1.1. Введение	7
1.2. Формы распространения теплоты.....	9
1.3. Характеристики процессов теплообмена.....	10
1.4. Закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.....	12
1.5. Виды конвективного теплообмена. Закон теплового взаимодействия поверхности с омываемой жидкостью.....	13
1.6. Теплообмен излучением. Общие положения и законы.....	16
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>23</i>
Глава 2. Теплопроводность. Математическое описание	25
2.1. Дифференциальное уравнение теплопроводности	25
2.2. Условия однозначности, граничные условия	28
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>30</i>
Глава 3. Стационарная теплопроводность.....	31
3.1. Стационарная теплопроводность одно- и многослойных бесконечных пластин при граничных условиях первого рода.....	31
3.2. Стационарная теплопроводность бесконечной пластины при граничных условиях третьего рода (теплопередача).....	34
3.3. Стационарная теплопроводность одно- и многослойных цилиндрических стенок при граничных условиях первого рода.....	35
3.4. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки при граничных условиях третьего рода (теплопередача).....	38
3.5. Теплопроводность плоского ребра.....	40
3.6. Примеры решения задач	42
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>43</i>
Глава 4. Нестационарная теплопроводность.....	44
4.1. Неограниченная пластина при граничных условиях первого рода.....	44
4.1.1. Постановка задачи	44
4.1.2. Решение задачи.....	45
4.2. Неограниченная пластина при граничных условиях третьего рода.....	49
4.2.1. Постановка задачи	49
4.2.2. Решение задачи.....	50
4.3. Бесконечный цилиндр при граничных условиях третьего рода	58
4.3.1. Постановка задачи	58
4.3.2. Решение задачи.....	60
4.4. Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров.....	64
4.4.1. Нагревание (охлаждение) длинного стержня прямоугольного сечения.....	64
4.4.2. Нагревание (охлаждение) параллелепипеда	66
4.4.3. Нагревание (охлаждение) короткого цилиндра.....	67

4.5. Регулярный режим нагрева (охлаждения) тел	69
4.6. Примеры решения задач	72
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	76
Глава 5. Численное решение задач теплопроводности	78
5.1. Общие положения	78
5.2. Стационарная теплопроводность	79
5.3. Нестационарная теплопроводность	81
5.4. Примеры решения задач	83
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	90
Глава 6. Конвективный теплообмен однородной жидкости	92
6.1. Характеристики течения жидкости	92
6.2. Математическое описание конвективного теплообмена	96
6.3. Основы теории пограничного слоя	106
6.4. Основы теории подобия тепловых процессов. Числа подобия и уравнения подобия теплообмена	109
6.5. Частные случаи теплообмена при естественной конвекции	116
6.5.1. Естественная конвекция около вертикальной стенки в неограниченном объеме	116
6.5.2. Естественная конвекция около горизонтальной поверхности в неограниченном объеме	119
6.5.3. Естественная конвекция около горизонтального цилиндра и сферы в большом объеме	121
6.5.4. Естественная конвекция в ограниченном пространстве	122
6.6. Частные случаи теплообмена при вынужденной конвекции	124
6.6.1. Обтекание плоской поверхности	124
6.6.2. Течение в трубах и каналах	126
6.6.3. Поперечное обтекание одиночной трубы и пучка труб	130
6.7. Теплообмен при смешанной конвекции	133
6.8. Примеры решения задач	137
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	140
Глава 7. Теплообмен при фазовых превращениях	142
7.1. Теплообмен при конденсации пара	142
7.2. Теплообмен при кипении	145
7.3. Примеры решения задач	148
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	150
Глава 8. Конвективный тепло- и массообмен	151
8.1. Поток массы на поверхности	151
8.2. Определение коэффициента массоотдачи	154
8.3. Тепло-массообменная аналогия	155
8.4. Примеры решения задач	156
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	158
Глава 9. Теплообмен излучением (лучистый теплообмен)	159
9.1. Лучистый теплообмен между поверхностями тел, расположенных в деатермичной (прозрачной) среде	159
9.2. Защита от теплового излучения. Экраны	162

9.3. Особенности излучения газов.....	164
9.4. Сложный лучисто-конвективный теплообмен.....	166
9.5. Примеры решения задач.....	167
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	172

Глава 10. Теплопередача..... 174

10.1. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление	174
10.2. Критический диаметр изоляции трубы.....	176
10.3. Увеличение коэффициента теплопередачи.....	177
10.4. Примеры решения задач.....	178
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	180

Глава 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах..... 181

11.1. Классификация теплообменных аппаратов	181
11.2. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.....	181
11.3. Пример решения задач.....	187
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	189

Глава 12. Практикум 190

12.1. Задачи по главе 3.....	190
12.2. Задачи по главе 4.....	191
12.3. Задачи по главе 5.....	192
12.4. Задачи по главе 6.....	195
12.5. Задачи по главе 7.....	196
12.6. Задачи по главе 8.....	196
12.7. Задачи по главе 9.....	197
12.8. Задачи по главе 10.....	198
12.9. Задачи по главе 11.....	199
12.10. Примеры заданий тестирования.....	200
12.11. Темы рефератов и докладов	208

Приложение 1. Значения μ , в уравнениях нестационарной теплопроводности для пластины и цилиндра при граничных условиях третьего рода.....	211
Приложение 2. Функции Бесселя первого рода $I_0(x)$ и $I_1(x)$	212
Приложение 3. Безразмерная температура в середине пластины.....	214
Приложение 4. Безразмерная температура на поверхности пластины.....	215
Приложение 5. Безразмерная температура на оси цилиндра.....	216
Приложение 6. Безразмерная температура на поверхности цилиндра.....	217
Приложение 7. Разностные уравнения баланса энергии для граничных узлов двумерных тел ($\Delta x = \Delta y$)	218
Приложение 8. Радиационные функции черного тела.....	220
Приложение 9. Параметры воды и водяного пара на линии насыщения (по давлению)	221
Приложение 10. Диаграмма $l-d$ влажного воздуха.....	224
Приложение 11. Плотность ρ , коэффициент теплопроводности λ и удельная теплоемкость c различных материалов при температуре t	225
Приложение 12. Физические параметры сухого воздуха и газообразных продуктов сгорания топлива ($r_{CO_2} = 0,13$, $r_{H_2O} = 0,11$, $r_{N_2} = 0,76$) при атмосферном давлении.....	227
Приложение 13. Физические параметры воды на линии насыщения	228

Приложение 14. Физические параметры водяного пара на линии насыщения.....	229
Приложение 15. Физические свойства масел.....	230
Приложение 16. Давление насыщения паров некоторых жидкостей $p_n \cdot 10^{-4}$, Па.....	231
Приложение 17. Коэффициент диффузии D_0 при $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па и $T_0 = 273$ К и значение показателя степени n в формуле определения коэффициента диффузии $D = D_0(T/T_0)^n (p_0/p)$	232
Приложение 18. Ориентировочные значения степени черноты ε	233
Приложение 19. Степень черноты и поглощательная способность газового объема...	234
Приложение 20. Ответы к задачам раздела 12	239
Приложение 21. Правильные ответы по заданиям тестирования.....	240
Список цитируемой и рекомендуемой литературы.....	241