

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

Ю. В. Видин, Р. В. Казаков, В. В. Колосов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ ТЕПЛОМАССООБМЕН

Рекомендовано Сибирским региональным учебно-методическим центром высшего профессионального образования для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» от 25 июня 2014 г.

Красноярск
СФУ
2015

УДК 621.1.016(07)
ББК 35.113-1я73
В421

Р е ц е н з е н т ы:

В. С. Логинов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теоретическая и промышленная теплотехника» Томского национального исследовательского политехнического университета;

А. А. Федяев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» Братского государственного университета

Видин, Ю. В.

В421 Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен : учеб. пособие / Ю. В. Видин, Р. В. Казаков, В. В. Колосов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 370 с.
ISBN 978-5-7638-3302-7

Изложены основные разделы теории тепломассообмена: стационарная и нестационарная теплопроводность, тепломассообмен в капиллярно-пористых телах и при мелкодисперсном распыливании жидкости, конвективный теплообмен в сплошной среде и при изменении агрегатного состояния. Рассмотрены методики определения интенсивности теплоотдачи в нестационарных условиях, неньютоновских жидкостях, акустическом поле и на поверхностях вращающихся тел. Дан расчет рекуперативных теплообменных аппаратов, численного моделирования процессов прогрева многослойных конструкций лучисто-конвективным теплом.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». Может быть полезно аспирантам и инженерам теплоэнергетических специальностей.

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 621.1.016(07)
ББК 35.113-1я73

ISBN 978-5-7638-3302-7

© Сибирский федеральный университет, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Основные положения, законы, понятия теории теплопроводности.....	5
1.1. Допущения аналитической теории теплопроводности	5
1.2. Температурное поле и средняя температура тела	5
1.3. Изотермические поверхности и линии теплового тока	7
1.4. Градиент и падение температуры. Основной закон теплопроводности Фурье	7
1.5. Коэффициент теплопроводности вещества	10
1.6. Математическая физика в теории тепломассообмена	11
1.7. Дифференциальное уравнение теплопроводности.....	13
2. Теплопроводность при стационарном режиме	19
2.1. Теплопроводность однослойной плоской стенки	19
2.2. Теплопроводность однослойной цилиндрической стенки	20
2.3. Принцип наложения температурных полей.....	22
2.4. Теплопередача цилиндра, заложенного в грунт	23
2.5. Принцип релаксации температурного поля	25
2.6. Расчет распространения тепла через кладку квадратного сечения методом релаксации	29
2.7. Графическое изображение теплового потока	30
2.8. Расчет распространения тепла через кладку квадратного сечения методом графического изображения теплового потока.....	35
2.9. Метод итераций.....	37
2.10. Расчет температурного поля в кладке квадратного сечения методом итераций	38
2.11. Электротепловая аналогия	39
2.12. Применение конформных отображений к решению задач теплопроводности	43
2.13. Примеры решения задач теплопроводности с помощью конформных отображений.....	46
2.13.1. Теплопроводность плоской стенки со смещенным началом координат.....	46
2.13.2. Теплопроводность цилиндрической стенки.....	47
2.13.3. Теплопроводность угловой стенки, ограниченной равнобоковой гиперболой	48
2.13.4. Теплопередача пола помещения.....	49

2.14. Приложение формул стационарной теплопроводности к процессам теплопередачи.....	51
2.14.1. Теплопередача от горячей жидкости к холодной через многослойную плоскую стенку	51
2.14.2. Теплопередача от горячей жидкости к холодной через многослойную цилиндрическую стенку.....	53
2.15. Критический диаметр тепловой изоляции	55
2.15.1. Аналитическое исследование термических сопротивлений цилиндрических систем.....	55
2.15.2. Графическое исследование термических сопротивлений цилиндрических систем в функции от толщины слоя тепловой изоляции	57
2.15.3. Вывод формулы критического диаметра тепловой изоляции	59
2.16. Теплообмен на оребренной поверхности	60
2.16.1. Продольные ребра	60
2.16.2. Радиальные ребра	68
3. Стационарная теплопроводность при внутреннем тепловыделении.....	71
3.1. Распространение тепла в неограниченной пластине при равномерном внутреннем тепловыделении.....	71
3.2. Распространение тепла в бесконечном цилиндре при равномерном внутреннем тепловыделении.....	72
3.3. Теплопроводность в стержнях.....	74
3.3.1. Теплопроводность стержня бесконечной длины.....	75
3.3.2. Теплопроводность стержня конечной длины	77
3.4. Распределение тепла при переменном коэффициенте теплопроводности	77
3.4.1. Плоская стенка.....	77
3.4.2. Цилиндрическая стенка	79
3.5. Теплопроводность при наличии фильтрации.....	81
3.5.1. Плоская стенка.....	81
3.5.2. Цилиндрическая стенка	83
4. Нестационарные процессы распространения тепла в твердых телах	86
4.1. Общее решение дифференциального уравнения теплопроводности	86
4.2. Определение температурного поля в неограниченной пластине при конвективном охлаждении	88
4.3. Метод перемножения температурных критериев	96

4.4. Нагрев тел постоянным тепловым потоком (граничные условия второго рода). Квазистационарный тепловой режим	102
4.5. Нагрев и охлаждение термически тонких тел конвективным потоком тепла.....	106
4.6. Распространение тепла в полуограниченном пространстве	108
4.7. Температурные волны в полуограниченном пространстве.....	110
4.7.1. Глубина заметного проникновения температурных волн ...	111
4.7.2. Плотность теплового потока на поверхности	111
4.7.3. Накопление и расход тепловой энергии	112
4.8. Определение потока тепла на внутренней поверхности	114
4.9. Аналитическое исследование тепловых процессов при сварке однородного металла электронным лучом	117
4.10. Расчет нестационарной теплопроводности в телах сложной формы	124
4.10.1. Постановка и классические решения стандартных задач теплопроводности	125
4.10.2. Анализ температурных полей с помощью критериев формы.....	130
4.10.3. Приближенное моделирование температурных полей тел сложной формы при деформации их поверхности до канонической	133
4.10.4. Инженерная методика расчета температурных полей массивных тел сложной формы с несильно меняющимся радиусом кривизны поверхности.....	138
4.11. Расчет среднemasсовой температуры тел сложной геометрической формы в регулярной стадии нагрева	139
5. Массовоnроводность капиллярно-пористых тел в изотермическом режиме	142
5.1. Основные положения теории влаnоnроводности материалов	142
5.2. Дифференциальное уравнение влаnоnроводности для одномерных плоских тел.....	143
5.3. Расчетные формулы стационарного и нестационарного режимов влаnоnроводности для плоской стенки (неограниченной пластины).....	145
5.4. Паропроницаемость	147
5.5. Воздухоnроницаемость	149
5.6. Стационарный процесс одновременного распространения влаги путем влаnоnроводности и фильтрации в плоской стенке	150
5.7. О стационарном неизотермическом режиме распространения влаги в плоском слое	153

6. Основы конвективного теплообмена.....	154
6.1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена	154
6.2. Первая теорема подобия	158
6.3. Вторая теорема подобия.....	162
6.4. Третья теорема подобия	165
6.5. Критерии теплового подобия	168
6.6. Эмпирические формулы в критериальном виде.....	169
6.7. Гидродинамический и тепловой пограничные слои	171
6.8. Интегральное соотношение для теплового пограничного слоя.....	173
6.9. Интегральное соотношение для гидродинамического пограничного слоя	176
6.10. Теплообмен при ламинарном движении жидкости.....	178
6.11. Теплообмен в круглой трубе при постоянной температуре стенки (граничные условия первого рода)	180
6.12. Теплообмен в круглой трубе при постоянной плотности теплового потока на стенке (граничные условия второго рода) ...	194
6.13. Теплообмен в круглой трубе при граничных условиях третьего рода.....	200
7. Теплообмен при изменении агрегатного состояния	209
7.1. Теплообмен при кипении жидкости.....	209
7.2. Теплообмен при конденсации пара	213
7.3. Тепловые трубки	217
8. Явления теплообмена в специфических условиях	220
8.1. Интенсивность теплоотдачи в нестационарных и стационарных условиях	220
8.2. О неньютоновских жидкостях.....	221
8.3. Об интенсификации теплоотдачи в акустическом поле	223
8.4. Теплоотдача при распылении воды форсунками промышленных кондиционеров воздуха.....	224
8.5. Теплоотдача вращающихся цилиндров.....	230
8.5.1. Особенности течения жидкости около вращающегося цилиндра	230
8.5.2. Приближенное теоретическое решение задачи о теплоотдаче вращающегося горизонтального цилиндра при свободной конвекции	234
8.5.3. Приближенное решение задачи о теплоотдаче вращающегося цилиндра при вынужденной конвекции	239
8.5.4. Экспериментальные исследования теплоотдачи вращающихся цилиндров	241

8.6. Тепломассообмен при течении тонкой пленки вязкой жидкости по поверхности горизонтального вращающегося диска.....	244
9. Теплообмен излучением.....	252
9.1. Основные положения и понятия	252
9.2. Основные законы теплового излучения	254
9.3. Лучистый теплообмен между двумя телами с плоскопараллельными поверхностями	258
9.4. Лучистый теплообмен между двумя телами, из которых одно находится в полости другого	262
9.5. Лучистый теплообмен между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве	267
9.6. Особенности излучения газов.....	269
10. Методы определения взаимных поверхностей лучистого теплообмена.....	274
10.1. Аналитический метод	274
10.2. Графический метод	275
10.3. Алгебраический метод определения взаимных поверхностей в замкнутой системе тел	278
10.4. Примеры определения взаимных поверхностей (угловых коэффициентов) алгебраическим методом	282
11. Теплообменные аппараты	286
11.1. Общие положения	286
11.2. Рекуперативные аппараты	286
12. Специальные вопросы теплопередачи.....	303
12.1. Нестационарные процессы распространения тепла в твердых телах при лучистом и сложном теплообмене.....	303
12.2. Суммарный тепловой поток при разных температурах источников тепла	307
13. Численное моделирование процессов прогрева многослойных конструкций лучисто-конвективным теплом	310
13.1. Прогрев составных тел при идеальном тепловом контакте между слоями.....	311
13.2. Динамика прогрева составных тел с учетом контактных термических сопротивлений	317
Словарь терминов.....	324
Контрольные вопросы	328

Библиографический список	331
Приложение 1	333
Приложение 2	345
Приложение 3	348
Приложение 4	349
Приложение 5	350
Приложение 6	351
Приложение 7	356
Приложение 8	359