

Оглавление

Часть 1	Принципы тепломассобмена	14
1	Законы переноса теплоты, вещества, импульса	16
1.1.	Теплообмен	16
1.2.	Массообмен	34
1.3.	Трение	38
2	Законы сохранения. Дифференциальные уравнения тепломассообмена	52
2.1	Общая форма балансового уравнения	52
2.2	Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности	54
2.3	Закон сохранения 1-компонента. Уравнение конвективной диффузии	54
2.4	Закон сохранения энергии. Уравнение энергии	55
2.5	Закон сохранения импульса. Уравнение движения	57
2.6	Система дифференциальных уравнений конвективного тепломассообмена	58
2.7	Термодинамические соотношения и свойства теплоносителей	59
2.8	Математическая структура уравнений конвективного тепломассообмена	60
2.9	Коэффициенты турбулентного переноса	63
3	Краевые условия	68
3.1	Контрольные объемы на границе	68
3.2	Примеры постановки граничных условий	69
3.3	Вычисление коэффициента теплоотдачи	71
3.4	Условия прилипания	72
3.5	Геометрия	73
4	Элементы неравновесной термодинамики	75
4.1	Методы неравновесной термодинамики	75
4.2	Задача о выравнивании температурного поля (классический термодинамический анализ)	82
4.3	Задача о выравнивании температурного поля (анализ методами неравновесной термодинамики)	84
4.4	Законы переноса в двухкомпонентной среде	86
Часть 2	Теплопроводность	89
5	Постановка краевых задач теплопроводности	90
5.1	Дифференциальное уравнение теплопроводности	90

5.2	Краевые условия. Типы граничных условий	90
6	Одномерные стационарные задачи теплопроводности	91
6.1	Одномерные стационарные модели	91
6.2	Плоская стенка	93
6.3	Цилиндрическая стенка	95
	Аналитическое решение	95
	Числовой пример	97
6.4	Сферическая стенка	104
6.5	Теплопередача	104
6.6	Принципы интенсификации теплопередачи	104
6.7	Интенсификация посредством оребрения	104
6.8	Теплопроводность вдоль стержня	104
6.9	Оптимизация оребрения	104
6.10	Задача об орбитальной платформе	104
6.11	Тепловая изоляция	109
7	Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты	110
7.1	Дифференциальное уравнение теплопроводности и краевые условия	110
7.2	Плоский твэл	110
7.3	Цилиндрический твэл	110
	Цилиндр с внутренними источниками	111
	Расчет теплопередачи через зазор и оболочку	114
	Распределение температуры в твэле	118
8	Нестационарная теплопроводность	120
8.1	Введение	120
8.2	Пластина	120
	Математическая формулировка задачи	122
	Оценки порядка величин	123
	Математическое описание в безразмерной форме	125
	Решение методом разделения переменных	128
	Определение констант интегрирования	130
	Результаты решения	133
	Асимптотический анализ решения	136
8.3	Цилиндр	143
8.4	Задача о прогреве полуграниченного массива	147
	Математическая формулировка задачи	147
8.5	Двух- и трехмерные нестационарные температурные поля	160
8.6	Температурные поля, создаваемые точечными и линейными источниками тепла	164
9	Численные методы теплопроводности	165
9.1	Введение	165
9.2	Математическая формулировка задачи	166

9.3	Дискретное представление	167
	Неявная схема	169
	Явная схема.....	169
	Коэффициенты неявной схемы	169
9.4	Метод прогонки. Вычислительные программы Coef и SysTRD ...	172
	Mathcad-программа Coef	172
	Mathcad-программа SysTRD.....	173
	Mathcad-программа TimeHistory	174
9.5	Компьютерное моделирование периодических тепловых воздействий	175
9.6	Встроенная функция Pdsolve	179
9.7	Работа с компьютерными программами.....	183
9.8	Численные методы для многомерных задач	189
	Встроенные функции для решения уравнений в частных производных	191
	Представление дифференциального уравнения теплопроводности в конечно-разностной форме	192
	Метод Гаусса–Зайделя. Программа Plate	195
	Тепловая модель платы компьютера	196
9.9	Заключение.....	201
10	Обратные задачи теплопроводности	205
10.1	Коэффициентная обратная задача как основа экспериментальных методов. Задачи диагностики теплового состояния объектов.....	205
10.2	Методы регуляризации при решении некорректных обратных задач.	205
Часть 3	Конвективный теплообмен	206
11	Инженерные методы расчета теплообмена в энергетических установках	207
11.1	Качественная теория для оценки коэффициента теплоотдачи при вынужденной и свободной конвекции.....	207
11.2	Методы подобия и размерностей	209
11.3	Теплоотдача при продольном обтекании пластины	209
11.4	Теплоотдача в поперечно-обтекаемых пучках труб.....	209
11.5	Теплоотдача в трубах и каналах.....	209
11.6	Теплоотдача при свободной конвекции	209
11.7	Конструирование приближенных расчетных формул для сложных задач методом интерполяции между асимптотами	210
11.8	Интенсификация теплообмена.	210
12	Теория пограничного слоя.	211
12.1	Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя.	211
12.2	Преобразование подобия. Автомодельные переменные.....	211

12.3	Интегрирование уравнения Фолкнера-Скэн для пограничных слоев на проницаемых поверхностях и с продольными градиентами давления.....	211
12.4	Интегрирование уравнения теплового пограничного слоя. Теплоотдача теплоносителей с различными числами Прандтля.....	219
12.5	Интегрирование уравнений свободноконвективных пограничных слоев. Асимптотика малых и больших чисел Прандтля	222
	Дифференциальные уравнения	222
	Автомодельные переменные	222
	Численное интегрирование. Поля скорости и температуры	224
	Расчет коэффициента теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи	226
	Структура пограничных слоев для жидкостей с различными свойствами	229
	Свободная конвекция на проницаемой стенке	231
13	Интегральный метод решения задач пограничного слоя	234
13.1	Интегральные соотношения пограничного слоя	234
	Интегральное соотношение теплового пограничного слоя.....	234
	Интегральное соотношение диффузионного пограничного слоя.....	234
	Интегральное соотношение динамического пограничного слоя	234
13.2	Законы трения, теплообмена, массообмена	234
	Стандартные законы	234
	Коррекция на проницаемость стенки и градиент скорости внешнего потока	234
	Обоснование формулировок законов трения, теплообмена, массообмена.....	234
	Условия ламинарно-турбулентного перехода	234
14	Примеры расчета тепломассообмена интегральным методом.....	235
14.1	Расчет теплоотдачи при различных тепловых граничных условиях на обтекаемой поверхности.....	235
14.2	Расчет теплоотдачи в окрестности передней критической точки поперечно обтекаемого цилиндра.	239
14.3	Защита поверхности от воздействия высокотемпературного потока посредством вдува	243
14.4	Расчет массообмена при конденсации парогазовой смеси	244
14.5	Расчет тепломассообмена при горении	249
15	Расчетные модели турбулентности в задачах конвективного теплообмена.....	250
15.1	Модели пути смешения.....	250
15.2	Дифференциальное уравнение переноса турбулентной энергии.....	250
15.3	Модель турбулентности k-ε.....	250
15.4	Алгебраические модели на основе уравнений переноса турбулентных напряжений	250

16	Численные методы конвективного теплообмена.....	251
16.1	Особенности аппроксимации конвективного переноса. Схема против потока.....	251
16.2	Особенности аппроксимации поля давления в движущихся жидкостях.....	251
16.3	Численные методы для теплообмена в пограничных слоях.....	251
16.4	Обзор математических пакетов для численного решения задач конвективного теплообмена.....	251
Часть 4	Двухфазный теплообмен	252
17	Элементы термогидродинамики двухфазных сред.....	253
17.1	Фазовые равновесия. Условия образования зародышей новой фазы.....	253
17.2	Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз.....	254
17.3	Феномен гидродинамической неустойчивости границы раздела.....	256
17.4	Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков.....	256
18	Теплообмен при кипении.....	257
18.1	Кривые кипения. Физика кипения.....	257
18.2	Модели теплообмена при пузырьковом кипении.....	257
	Плотность центров парообразования с учетом фрактального характера шероховатой поверхности стенки.....	257
	Рост пузырька пара в перегретой жидкости.....	257
	Испарение тонкой пленки жидкости под пузырьком.....	257
	Коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении.....	257
18.3	Расчетные соотношения для кипения в большом объеме.....	257
18.4	Кризис кипения.....	257
18.5	Пленочное кипение.....	257
18.6	Кипение на структурах.....	257
18.7	Кипение в трубах.....	258
	Структура потока и режимы кипения.....	258
	Диагностика кризисов кипения в зависимости от давления, массовой скорости и паросодержания.....	258
	Модели двухфазного трения и теплообмена в потоке.....	258
	Расчет парогенерирующих каналов.....	258
19	Теплообмен при конденсации	259
19.1	Общее описание процесса конденсации.....	259
	Уравнения баланса массы и энергии.....	261
	Уравнение энергии для пленки конденсата.....	262
	Основные допущения теории тонких пленок конденсата.....	265
	Уравнение движения пленки конденсата.....	266
19.2	Гравитационная ламинарная пленка конденсата.....	267

19.3	Турбулентная гравитационная пленка конденсата.....	270
	Уравнения движения и энергии для турбулентной пленки.....	270
	Безразмерные переменные	271
	Коэффициенты турбулентного переноса в пленке конденсата	272
	Распределения скорости и температуры в форме интегралов	275
	Расчет профиля скорости в турбулентной гравитационной пленке ...	277
	Расчет расхода конденсата в пленке.....	279
	Расчет локальной теплоотдачи.....	281
	Исследование влияния числа Прандтля на теплоперенос в пленке конденсата.....	283
	Литература	285
19.4	Сдвиговая ламинарная пленка.....	286
19.5	Сдвиговая турбулентная пленка.....	289
	Уравнения движения и энергии	289
	Модель турбулентного переноса	290
	Логарифмическое распределение скорости в слое постоянного напряжения	292
	Межфазная турбулентность	296
	Распределение скорости и расход в пленке	299
	Расчет локальной теплоотдачи.....	302
	Аппроксимация для развитого турбулентного режима	305
	Интерполяция между асимптотами ламинарного и турбулентного режима.....	309
19.6	Универсальные аппроксимации для расчета теплообмена при конденсации	309
19.7	Аппроксимации для толщины пленки	310
19.8	Расчет трения на межфазной границе.....	314
19.9	Конденсация на трубных пучках.....	316
19.10	Конденсация в трубах.....	316
19.11	Струйная конденсация	316
19.12	Испарение стекающих пленок жидкости	316
20	Модели гравитационного пузырькового течения.....	318
20.1	Барботаж и сепарация пара.....	318
20.2	Захват пара в опускную систему.....	318
20.3	Кинематические волны и скачки паросодержания.....	318
Часть 5	Излучение.....	319
21	Основные понятия и законы теплового излучения.....	320
21.1	Количественные характеристики излучения.....	320
21.2	Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа.....	323
21.3	Законы излучения абсолютно черного тела.....	326
21.4	Излучение и поглощение нечерных тел.....	329
22	Теплообмен излучением в прозрачной среде	332

1.1.	Диатермичная среда	332
1.2.	Понятие углового коэффициента излучения.....	332
1.3.	Расчет угловых коэффициентов	337
1.4.	Замкнутая система поверхностей.....	341
1.5.	Аналитические решения для простых систем.....	347
1.6.	Примеры, приложения	353
	Задача о радиационных заморозках.....	354
	Задача о газовом теплообменнике	356
	Задача об экранных поверхностях нагрева	358
23	Теплообмен излучением в системе с излучающим и поглощающим газом	364
23.1	Расчет излучения и поглощения газов.....	364
23.2	Уравнение переноса излучения.	373
23.3	Радиационно-конвективный теплообмен в камере сгорания	373
Часть 6	Теплообменники	382
24	Основы теплогидравлического расчета поверхностных теплообменников.....	383
24.1	Типы теплообменников и схемы движения теплоносителей	383
24.2	Математическая модель теплообменника	383
	Схема теплообменника	383
	Уравнения сохранения для суммарных потоков	384
	Уравнения сохранения для потоков теплоносителей	385
	Уравнение теплопередачи	387
	Дифференциальная модель теплообменника.....	387
	Дифференциальное уравнение для температурного напора	388
	Система уравнений для теплового расчета теплообменника	390
24.3	Эффективность теплообменника	390
	Предельные достижимые выходные температуры и тепловой поток	390
	Соотношение между эффективностью и числом единиц переноса тепла	394
24.4	Программа для теплового расчета теплообменников	395
	Конструкторский расчет.....	395
	Поверочный расчет	398
	Эксперименты с компьютерной моделью теплообменника	398
24.5	Гидравлический расчет теплообменников	399
24.6	Заключение.....	399
25	Интенсифицированные теплообменники.....	401
25.1	Методы интенсификации теплопередачи.....	401
25.2	Методы оценки энергетической эффективности теплообменников. Оптимизация теплообменников	401
26	Дифференциальные модели теплообменников	404
26.1	Одномерные дифференциальные модели теплообменников.....	404

26.2	Многомерные модели теплообменников как пористых сред	404
Часть 7 Компьютерные модели		406
27	Демонстрационные модели для Части 1. Принципы	
	теплообмена	407
27.1	407
28	Компьютерные модели для Части 2. Теплопроводность	408
28.1	Численное моделирование нестационарных одномерных температурных полей (сеточная модель с решением трехдиагональной системы методом прогонки, Windows, Visual Basic).....	408
28.2	Численное моделирование нестационарных двумерных температурных полей с внутренними источниками тепла (сеточная модель на базе метода переменных направлений с решением трехдиагональных систем методом прогонки). Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных	408
28.3	Численное моделирование стационарных двухмерных температурных полей в среде Mathcad. (тепловая модель платы компьютера, моделирование аварийного режима охлаждения твэла, пластинчатое оребрение, радиатор космической энергетической установки и другие прикладные стационарные двухмерные задачи теплопроводности).....	408
28.4	Численное моделирование нестационарных одномерных температурных полей в среде Mathcad. Задачи о температурных волнах и импульсных тепловых воздействиях.	408
28.5	Одномерная задача о твэле. Расчет температурного поля в стержне и оболочке с учетом температурной зависимости свойств материалов (Mathcad)	408
28.6	Демонстрационные примеры двухмерных моделей в среде Matlab	409
29	Компьютерные модели для Части 3. Конвективный теплообмен	410
29.1	Теплообмен и трение на проницаемых поверхностях (управление пограничным слоем, вдув, отсос, испарение, конденсация). Решение уравнения Фолкнера-Скэн. (Mathcad).....	410
	Решение уравнений свободноконвективного пограничного слоя в автомодельных переменных. Расчет коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции. (Mathcad).....	410
29.2	Динамическая модель системы с тепловыделением (тепловой взрыв, самовоспламенение) (Mathcad).....	410
29.3	Теплопередача в окрестности передней критической точки поперечно обтекаемой трубы. Учебный проект в среде Mathcad.	410
29.4	Численное моделирование двумерных задач теплообмена методом конечных элементов (МКЭ). Windows-приложение в среде	

Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных (оригинальная разработка).....	410
30 Компьютерные модели для Части 4. Двухфазный теплообмен....	411
30.1 Компьютерная модель парогенерирующего канала. Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных.....	411
30.2 Компьютерная модель тепломассообмена при конденсации в трубах (Windows, Visual Basic).....	411
30.3 Компьютерная модель двухфазного пограничного слоя (конденсация, испарение, контактный тепломассообмен) (Windows, Visual Basic).....	411
30.4 Компьютерная модель пузырькового кипения (Mathcad, Visual Basic)	411
30.5 Гравитационные пузырьковые течения. Кинематические волны и скачки паросодержания. (Mathcad)	411
30.6 Тепломассообмен и гидродинамика в контактных аппаратах в режиме диспергированных струй, предел одиночных капель (Mathcad)	411
31 Компьютерные модели для Части 5. Излучение	412
31.1 Компьютерная модель радиационно-конвективного теплообмена в камере сгорания. Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных	412
Тексты программ	419
Public Sub RadRun().....	419
Public Sub GasRadiation(Lbeam, TK).....	422
Public Sub SurfRadiation()	422
Public Sub Abstand(Z, V(), K).....	423
Public Sub MatrixSetForT()	424
Public Sub MatrixSetForTE()	424
Public Sub VecBSet().....	425
Public Sub phiDuality().....	425
Public Sub VecBSetSimpl(V(), K).....	425
Public Sub LengthOfBeam(Lbeam)	426
Public Sub HeatBalance()	426
Sub SIMPL(K, NNN, D, DV(), V(), RMIN, NN)	427
Sub AlfaRibBundle(Tg, Drt, ChanSect, StepRib, _	430
31.2 Компьютерное моделирование угловых коэффициентов излучения методами алгебры потоков излучения (Mathcad).....	431
31.3 Модельная задачи о радиационном теплообмене на космической платформе (Mathcad)	431
31.4	431
32 Компьютерные модели для Части 6. Теплообменники.....	432

32.1	Оптимизация интенсифицированного теплообменника: метод минимума суммарных затрат. DOS-приложение в среде Visual Basic DOS, диалоговая система с встроенной базой данных.....	432
32.2	Модельная задача об обтекании пучков в кожухотрубном теплообменнике на базе модели пористого тела. ANSYS	432
32.3	Дифференциальные тепловые модели со свойством жесткости. (Mathcad).....	432
32.4	Моделирование кинематических волн и скачков концентрации в ионнообменных фильтрах.....	432
32.5	Моделирование тепломассообмена в градирнях ТЭС и АЭС (Mathcad).....	432
Часть 8 Экспериментальные методы тепломассообмена		433
33	Измерение теплопроводности веществ	434
33.1	Метод нагретой нити	434
34	Измерение коэффициента теплоотдачи	435
34.1	Локальная теплоотдача при обтекании цилиндра	435
35	Испытания теплообменников	436
35.1	Пароводяной теплообменник	436
35.2	Градирня.....	436

Часть 1 Принципы тепломассообмена

1 Законы переноса теплоты, вещества, импульса

- 1.1. Теплообмен
- 1.2. Массообмен
- 1.3. Трение

2 Законы сохранения. Дифференциальные уравнения тепломассообмена

- 2.1 Общая форма балансового уравнения
- 2.2 Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
- 2.3 Закон сохранения 1-компонента. Уравнение конвективной диффузии
- 2.4 Закон сохранения энергии. Уравнение энергии.
- 2.5 Закон сохранения импульса. Уравнение движения.
- 2.6 Система дифференциальных уравнений конвективного тепломассообмена.

- 2.7 Термодинамические соотношения и свойства теплоносителей
- 2.8 Математическая структура уравнений конвективного теплообмена.
- 2.9 Коэффициенты турбулентного переноса

3 Краевые условия

- 3.1 Контрольные объемы на границе
- 3.2 Примеры постановки граничных условий
- 3.3 Вычисление коэффициента теплоотдачи.
- 3.4 Условия прилипания
- 3.5 Геометрия

4 Элементы неравновесной термодинамики.

- 4.1 Методы неравновесной термодинамики
- 4.2 Задача о выравнивании температурного поля (классический термодинамический анализ).
- 4.3 Задача о выравнивании температурного поля (анализ методами неравновесной термодинамики).
- 4.4 Законы переноса в двухкомпонентной среде

Часть 2 Теплопроводность

5 Постановка краевых задач теплопроводности

- 5.1 Дифференциальное уравнение теплопроводности
- 5.2 Краевые условия. Типы граничных условий

6 Одномерные стационарные задачи теплопроводности

- 6.1 Одномерные стационарные модели
- 6.2 Плоская стенка
- 6.3 Цилиндрическая стенка
Аналитическое решение
Числовой пример
- 6.4 Сферическая стенка
- 6.5 Теплопередача
- 6.6 Принципы интенсификации теплопередачи.
- 6.7 Интенсификация посредством оребрения
- 6.8 Теплопроводность вдоль стержня
- 6.9 Оптимизация оребрения
- 6.10 Задача об орбитальной платформе
- 6.11 Тепловая изоляция

7 Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты

- 7.1 Дифференциальное уравнение теплопроводности и краевые условия
- 7.2 Плоский твэл
- 7.3 Цилиндрический твэл

Цилиндр с внутренними источниками
Расчет теплопередачи через зазор и оболочку
Распределение температуры в твэле

8 Нестационарная теплопроводность

- 8.1 Введение
- 8.2 Пластина
 - Математическая формулировка задачи
 - Оценки порядка величин
 - Математическое описание в безразмерной форме
 - Решение методом разделения переменных
 - Определение констант интегрирования
 - Результаты решения
 - Асимптотический анализ решения
- 8.3 Цилиндр
- 8.4 Задача о прогреве полуограниченного массива
 - Математическая формулировка задачи
- 8.5 Двух- и трехмерные нестационарные температурные поля
- 8.6 Температурные поля, создаваемые точечными и линейными источниками тепла.

9 Численные методы теплопроводности

- 9.1 Введение
- 9.2 Математическая формулировка задачи
- 9.3 Дискретное представление
 - Неявная схема
 - Явная схема
 - Коэффициенты неявной схемы
- 9.4 Метод прогонки. Вычислительные программы Coef и SysTRD
 - Mathcad-программа Coef
 - Mathcad-программа SysTRD
 - Mathcad-программа TimeHistory
- 9.5 Компьютерное моделирование периодических тепловых воздействий
- 9.6 Встроенная функция Pdsolve
- 9.7 Работа с компьютерными программами
- 9.8 Численные методы для многомерных задач
 - Встроенные функции для решения уравнений в частных производных
 - Представление дифференциального уравнения теплопроводности в конечно-разностной форме
 - Метод Гаусса–Зайделя. Программа Plate
 - Тепловая модель платы компьютера
- 9.9 Заключение

10 Обратные задачи теплопроводности

- 10.1 Коэффициентная обратная задача как основа экспериментальных методов. Задачи диагностики теплового состояния объектов
- 10.2 Методы регуляризации при решении некорректных обратных задач.

Часть 3 Конвективный теплообмен

11 Инженерные методы расчета теплообмена в энергетических установках

- 11.1 Качественная теория для оценки коэффициента теплоотдачи при вынужденной и свободной конвекции
- 11.2 Методы подобия и размерностей
- 11.3 Теплоотдача при продольном обтекании пластины
- 11.4 Теплоотдача в поперечно-обтекаемых пучках труб
- 11.5 Теплоотдача в трубах и каналах
- 11.6 Теплоотдача при свободной конвекции
- 11.7 Конструирование приближенных расчетных формул для сложных задач методом интерполяции между асимптотами
- 11.8 Интенсификация теплообмена.

12 Теория пограничного слоя.

- 12.1 Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя.
- 12.2 Преобразование подобия. Автомодельные переменные
- 12.3 Интегрирование уравнения Фолкнера-Скэн для пограничных слоев на проницаемых поверхностях и с продольными градиентами давления
- 12.4 Интегрирование уравнения теплового пограничного слоя. Теплоотдача теплоносителей с различными числами Прандтля
- 12.5 Интегрирование уравнений свободноконвективных пограничных слоев. Асимптотика малых и больших чисел Прандтля
 - Дифференциальные уравнения
 - Автомодельные переменные
 - Численное интегрирование. Поля скорости и температуры
 - Расчет коэффициента теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи
 - Структура пограничных слоев для жидкостей с различными свойствами
 - Свободная конвекция на проницаемой стенке

13 Интегральный метод решения задач пограничного слоя

- 13.1 Интегральные соотношения пограничного слоя
 - Интегральное соотношение теплового пограничного слоя
 - Интегральное соотношение диффузионного пограничного слоя
 - Интегральное соотношение динамического пограничного слоя

- 13.2 Законы трения, теплообмена, массообмена
 - Стандартные законы
 - Коррекция на проницаемость стенки и градиент скорости внешнего потока
 - Обоснование формулировок законов трения, теплообмена, массообмена
 - Условия ламинарно-турбулентного перехода

14 Примеры расчета тепломассообмена интегральным методом

- 14.1 Расчет теплоотдачи при различных тепловых граничных условиях на обтекаемой поверхности
- 14.2 Расчет теплоотдачи в окрестности передней критической точки поперечно обтекаемого цилиндра.
- 14.3 Защита поверхности от воздействия высокотемпературного потока посредством вдува
- 14.4 Расчет массообмена при конденсации парогазовой смеси
- 14.5 Расчет тепломассообмена при горении

15 Расчетные модели турбулентности в задачах конвективного теплообмена.

- 15.1 Модели пути смешения
- 15.2 Дифференциальное уравнение переноса турбулентной энергии
- 15.3 Модель турбулентности k-ε
- 15.4 Алгебраические модели на основе уравнений переноса турбулентных напряжений

16 Численные методы конвективного тепломассообмена

- 16.1 Особенности аппроксимации конвективного переноса. Схема против потока.
- 16.2 Особенности аппроксимации поля давления в движущихся жидкостях
- 16.3 Численные методы для тепломассообмена в пограничных слоях
- 16.4 Обзор математических пакетов для численного решения задач конвективного теплообмена.

Часть 4 Двухфазный теплообмен

17 Элементы термогидродинамики двухфазных сред

- 17.1 Фазовые равновесия. Условия образования зародышей новой фазы
- 17.2 Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз
- 17.3 Феномен гидродинамической неустойчивости границы раздела
- 17.4 Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков.

18 Теплообмен при кипении

- 18.1 Кривые кипения. Физика кипения.
- 18.2 Модели теплообмена при пузырьковом кипении.
 - Плотность центров парообразования с учетом фрактального характера шероховатой поверхности стенки
 - Рост пузырька пара в перегретой жидкости
 - Испарение тонкой пленки жидкости под пузырьком
 - Коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении
- 18.3 Расчетные соотношения для кипения в большом объеме
- 18.4 Кризис кипения
- 18.5 Пленочное кипение
- 18.6 Кипение на структурах
- 18.7 Кипение в трубах
 - Структура потока и режимы кипения
 - Диагностика кризисов кипения в зависимости от давления, массовой скорости и паросодержания
 - Модели двухфазного трения и теплообмена в потоке.
 - Расчет парогенерирующих каналов.

19 Теплообмен при конденсации

- 19.1 Общее описание процесса конденсации
 - Уравнения баланса массы и энергии
 - Уравнение энергии для пленки конденсата
 - Основные допущения теории тонких пленок конденсата
 - Уравнение движения пленки конденсата
- 19.2 Гравитационная ламинарная пленка конденсата
- 19.3 Турбулентная гравитационная пленка конденсата
 - Уравнения движения и энергии для турбулентной пленки
 - Безразмерные переменные
 - Коэффициенты турбулентного переноса в пленке конденсата
 - Распределения скорости и температуры в форме интегралов
 - Расчет профиля скорости в турбулентной гравитационной пленке
 - Расчет расхода конденсата в пленке
 - Расчет локальной теплоотдачи
 - Исследование влияния числа Прандтля на теплоперенос в пленке конденсата
 - Литература
- 19.4 Сдвиговая ламинарная пленка
- 19.5 Сдвиговая турбулентная пленка
 - Уравнения движения и энергии
 - Модель турбулентного переноса
 - Логарифмическое распределение скорости в слое постоянного напряжения
 - Межфазная турбулентность
 - Распределение скорости и расход в пленке
 - Расчет локальной теплоотдачи

Аппроксимация для развитого турбулентного режима
Интерполяция между асимптотами ламинарного и турбулентного режима

- 19.6 Универсальные аппроксимации для расчета теплообмена при конденсации
- 19.7 Аппроксимации для толщины пленки
- 19.8 Расчет трения на межфазной границе
- 19.9 Конденсация на трубных пучках.
- 19.10 Конденсация в трубах.
- 19.11 Струйная конденсация
- 19.12 Испарение стекающих пленок жидкости

20 Модели гравитационного пузырькового течения.

- 20.1 Барботаж и сепарация пара.
- 20.2 Захват пара в опускную систему.
- 20.3 Кинематические волны и скачки паросодержания

Часть 5 Излучение

21 Основные понятия и законы теплового излучения

- 21.1 Количественные характеристики излучения
- 21.2 Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа.
- 21.3 Законы излучения абсолютно черного тела.
- 21.4 Излучение и поглощение нечерных тел.

22 Теплообмен излучением в прозрачной среде

- 1.1. Диатермичная среда
- 1.2. Понятие углового коэффициента излучения
- 1.3. Расчет угловых коэффициентов
- 1.4. Замкнутая система поверхностей
- 1.5. Аналитические решения для простых систем
- 1.6. Примеры, приложения
 - Задача о радиационных заморозках
 - Задача о газовом теплообменнике
 - Задача об экранных поверхностях нагрева

23 Теплообмен излучением в системе с излучающим и поглощающим газом

- 23.1 Расчет излучения и поглощения газов
- 23.2 Уравнение переноса излучения.
- 23.3 Радиационно-конвективный теплообмен в камере сгорания

Часть 6 Теплообменники

24 Основы теплогидравлического расчета поверхностных теплообменников

- 24.1 Типы теплообменников и схемы движения теплоносителей
- 24.2 Математическая модель теплообменника
 - Схема теплообменника
 - Уравнения сохранения для суммарных потоков
 - Уравнения сохранения для потоков теплоносителей
 - Уравнение теплопередачи
 - Дифференциальная модель теплообменника
 - Дифференциальное уравнение для температурного напора
 - Система уравнений для теплового расчета теплообменника
- 24.3 Эффективность теплообменника
 - Предельные достижимые выходные температуры и тепловой поток
 - Соотношение между эффективностью и числом единиц переноса тепла
- 24.4 Программа для теплового расчета теплообменников
 - Конструкторский расчет
 - Проверочный расчет
 - Эксперименты с компьютерной моделью теплообменника
- 24.5 Гидравлический расчет теплообменников
- 24.6 Заключение

25 Интенсифицированные теплообменники.

- 25.1 Методы интенсификации теплопередачи
- 25.2 Методы оценки энергетической эффективности теплообменников. Оптимизация теплообменников

26 Дифференциальные модели теплообменников

- 26.1 Одномерные дифференциальные модели теплообменников
- 26.2 Многомерные модели теплообменников как пористых сред

Часть 7 Компьютерные модели

27 Демонстрационные модели для Части 1. Принципы теплообмена

- 27.1

28 Компьютерные модели для Части 2. Теплопроводность

- 28.1 Численное моделирование нестационарных одномерных температурных полей (сеточная модель с решением трехдиагональной системы методом прогонки, Windows, Visual Basic)
- 28.2 Численное моделирование нестационарных двумерных температурных полей с внутренними источниками тепла (сеточная модель на базе метода переменных направлений с решением трехдиагональных систем методом прогонки). Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных
- 28.3 Численное моделирование стационарных двумерных температурных полей в среде Mathcad. (тепловая модель платы)

компьютера, моделирование аварийного режима охлаждения твэла, пластинчатое оребрение, радиатор космической энергетической установки и другие прикладные стационарные двумерные задачи теплопроводности)

28.4 Численное моделирование нестационарных одномерных температурных полей в среде Mathcad. Задачи о температурных волнах и импульсных тепловых воздействиях.

28.5 Одномерная задача о твэле. Расчет температурного поля в стержне и оболочке с учетом температурной зависимости свойств материалов (Mathcad)

28.6 Демонстрационные примеры двумерных моделей в среде Matlab

29 Компьютерные модели для Части 3. Конвективный теплообмен

29.1 Теплообмен и трение на проницаемых поверхностях (управление пограничным слоем, вдув, отсос, испарение, конденсация). Решение уравнения Фолкнера-Скэн. (Mathcad)

Решение уравнений свободноконвективного пограничного слоя в автоматических переменных. Расчет коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции. (Mathcad)

29.2 Динамическая модель системы с тепловыделением (тепловой взрыв, самовоспламенение) (Mathcad).

29.3 Теплопередача в окрестности передней критической точки поперечно обтекаемой трубы. Учебный проект в среде Mathcad.

29.4 Численное моделирование двумерных задач теплообмена методом конечных элементов (МКЭ). Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных (оригинальная разработка)

30 Компьютерные модели для Части 4. Двухфазный теплообмен

30.1 Компьютерная модель парогенерирующего канала. Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных

30.2 Компьютерная модель теплообмена при конденсации в трубах (Windows, Visual Basic)

30.3 Компьютерная модель двухфазного пограничного слоя (конденсация, испарение, контактный теплообмен) (Windows, Visual Basic)

30.4 Компьютерная модель пузырькового кипения (Mathcad, Visual Basic)

30.5 Гравитационные пузырьковые течения. Кинематические волны и скачки паросодержания. (Mathcad)

30.6 Теплообмен и гидродинамика в контактных аппаратах в режиме диспергированных струй, предел одиночных капель (Mathcad)

31 Компьютерные модели для Части 5. Излучение

31.1 Компьютерная модель радиационно-конвективного теплообмена в камере сгорания. Windows-приложение в среде Visual Basic с графическим интерфейсом и встроенной базой данных

Тексты программ.

Public Sub RadRun()

Public Sub GasRadiation(Lbeam, TK)

Public Sub SurfRadiation()

Public Sub Abstand(Z, V(), K)

Public Sub MatrixSetForT()

Public Sub MatrixSetForTE()

Public Sub VecBSet()

Public Sub phiDuality()

Public Sub VecBSetSimpl(V(), K)

Public Sub LengthOfBeam(Lbeam)

Public Sub HeatBalance()

Sub SIMPL(K, NNN, D, DV(), V(), RMIN, NN)

Sub AlfaRibBundle(Tg, Drt, ChanSect, StepRib, _

31.2 Компьютерное моделирование угловых коэффициентов излучения методами алгебры потоков излучения (Mathcad)

31.3 Модельная задачи о радиационном теплообмене на космической платформе (Mathcad)

31.4

32 Компьютерные модели для Части 6. Теплообменники

32.1 Оптимизация интенсифицированного теплообменника: метод минимума суммарных затрат. DOS-приложение в среде Visual Basic DOS, диалоговая система с встроенной базой данных

32.2 Модельная задача об обтекании пучков в кожухотрубном теплообменнике на базе модели пористого тела. ANSYS

32.3 Дифференциальные тепловые модели со свойством жесткости. (Mathcad)

32.4 Моделирование кинематических волн и скачков концентрации в ионнообменных фильтрах

32.5 Моделирование тепломассообмена в градирнях ТЭС и АЭС (Mathcad)

Часть 8 Экспериментальные методы тепломассообмена

33 Измерение теплопроводности веществ

33.1 *Метод нагретой нити*

34 Измерение коэффициента теплоотдачи

34.1 Локальная теплоотдача при обтекании цилиндра

35 Испытания теплообменников

35.1 Пароводяной теплообменник

35.2 Градирня