

Оглавление

От автора.....	3
Введение.....	7
1. Термодинамические циклы поршневых и комбинированных двигателей.....	11
1.1. Рабочий процесс в поршневых двигателях.....	11
1.1.1. Виды поршневых двигателей.....	11
1.1.2. Основные термодинамические понятия.....	12
1.1.3. Работа, совершаемая в цилиндре поршневого двигателя.....	14
1.1.4. Четырехтактный двигатель.....	15
1.1.5. Двухтактный двигатель.....	18
1.1.6. Реальный и термодинамический циклы. Их эффективность.....	20
1.2. Цикл Карно.....	21
1.2.1. Краткая историческая справка.....	21
1.2.2. Прямой цикл Карно. Термический КПД. Теорема Карно.....	22
1.2.3. Обратный цикл Карно. Холодильный и отопительный коэффициенты.....	25
1.2.4. Роль Карно в развитии термодинамики.....	27
1.3. Обобщенный термодинамический цикл поршневых и комбинированных двигателей.....	32
1.4. Цикл Отто.....	33
1.4.1. Прообразы современных двигателей Отто.....	33
1.4.2. Термодинамический цикл Отто.....	38
1.5. Цикл Дизеля.....	39
1.5.1. Прообразы современных двигателей Дизеля.....	39
1.5.2. Термодинамический цикл Дизеля.....	43
1.6. Цикл Тринклера.....	44
1.6.1. Краткая историческая справка. Термодинамический цикл Тринклера.....	44
1.6.2. Сравнительный анализ термодинамических циклов поршневых двигателей.....	48
1.7. Термодинамические циклы комбинированных двигателей.....	54
1.7.1. Основные схемы.....	54
1.7.2. Термодинамический цикл комбинированного двигателя с импульсной турбиной.....	57
1.7.3. Термодинамический цикл комбинированного двигателя с турбиной постоянного давления.....	60

1.7.4. Термодинамический цикл комбинированного двигателя с промежуточным охлаждением рабочего тела	62
1.8. Термодинамический цикл Стирлинга	64
1.9. О термодинамических циклах роторных двигателей внутреннего сгорания.....	68
2. Термодинамические параметры рабочего тела	70
2.1. Особенности изменения параметров рабочего тела. Локальные параметры.....	70
2.2. Рабочее тело как многофазная среда	74
2.3. Теплофизические свойства компонентов рабочего тела	77
2.4. Релаксация скорости	86
2.5. Релаксация температуры	92
3. Моделирование рабочего процесса в поршневых двигателях	97
3.1. Понятие модели	97
3.2. Однозонная модель	100
3.2.1. Основные предпосылки создания. Коэффициент избытка воздуха.....	100
3.2.2. Основные уравнения. Задачи расчета рабочего процесса	103
3.2.3. Расчет изменения температуры и давления в рабочем процессе двигателя с внутренним смесеобразованием.....	105
3.2.4. Расчет скорости тепловыделения в рабочем процессе двигателя с внутренним смесеобразованием.....	108
3.2.5. Особенности однозонной модели двигателя с внешним смесеобразованием	110
3.3. Двухзонная модель.....	114
3.3.1. Основные предпосылки создания. Коэффициент избытка воздуха.....	114
3.3.2. Определение мгновенных значений массы рабочего тела в отдельных зонах	117
3.3.3. Основные уравнения двухзонной модели	119
3.3.4. Особенности расчета теплообмена в рабочем процессе двигателя с внутренним смесеобразованием.....	122
3.3.5. Определение мгновенных значений объема рабочего тела в отдельных зонах	125
3.3.6. Особенности двухзонной модели рабочего процесса двигателя с внешним смесеобразованием	126
3.3.7. Сравнительный анализ одно- и двухзонных моделей.....	128
3.4. Многозонная модель	132
3.4.1. Основная система уравнений.....	133
3.4.2. Расчет скоростей испарения и сгорания в отдельных зонах	135
3.4.3. Массообмен между зонами.....	137
3.4.4. Теплообмен со стенками КС и отдельными зонами.....	138
3.4.5. Анализ результатов расчета.....	140

4. Организация рабочего процесса в поршневых двигателях	143
4.1. Генерация вихревого движения заряда	143
4.2. Интенсивность вихревого движения заряда и методы ее определения	148
4.3. Интенсивность вихревого движения воздушного заряда в быстроходном двигателе с тангенциальным и спиральным впускными каналами	159
4.4. Камеры сгорания и способы смесеобразования в поршневых двигателях	168
4.4.1. Особенности рабочего процесса в полуразделенных КС	170
4.4.3. Особенности рабочего процесса в неразделенной КС	218
4.5. О рабочих процессах гибридных двигателей	235
5. Впрыскивание и распыливание топлива в поршневых двигателях	240
5.1. Впрыскивание топлива	240
5.1.1. Бензиновые двигатели	240
5.1.2. Дизели	240
5.1.3. Характеристики впрыскивания топлива	250
5.1.4. Влияние многократного впрыскивания на эффективные и экологические показатели рабочего процесса	250
5.2. Теория распада струи жидкого топлива	267
5.3. Вторичное дробление и оптимальные размеры капель	275
5.4. Топливный факел как статистический ансамбль капель различных размеров	278
5.5. Средний диаметр капель топлива	285
5.6. Вывод формулы среднего диаметра капель на основе теории подобия и размерности	288
5.7. Полуэмпирические формулы для расчета среднего диаметра капель	291
5.8. Динамика топливного факела	298
5.9. Полуэмпирические формулы для расчета динамики топливного факела	308
6. Испарение топлива в поршневых двигателях	313
6.1. Некоторые особенности испарения топлива	313
6.2. Нестационарная диффузия паров топлива	321
6.3. Подобие процессов тепло- и массообмена. Стефанов поток	320
6.4. Испарение капель топлива в объеме камеры сгорания	330
6.5. Испарение капель топлива на нагретой поверхности стенки камеры сгорания	335
6.6. Расчет пограничного слоя при наличии топливной пленки	347
6.6.1. Основные предпосылки	348

6.6.2. Расчет динамического пограничного слоя в смеси воздуха и капель топлива	350
6.6.3. Расчет тепловых потоков в турбулентном пограничном слое в смеси воздуха и капель топлива.....	362
7. Основы теории горения в поршневых двигателях	367
7.1. Понятие горения. Скорость химической реакции. Закон действующих масс.....	367
7.2. Тепловой эффект химической реакции. Закон Гесса	373
7.3. Коэффициент молекулярного изменения и его зависимость от способа смесеобразования.....	376
7.4. Влияние температуры на тепловой эффект реакции. Молекулярность и порядок реакции.....	384
7.5. Определение константы скорости реакции на основе теории Максвелла — Больцмана.....	391
7.6. Влияние давления на скорость химической реакции.....	395
7.7. Механизм и кинетика цепных химических реакций.....	397
7.8. Образование токсичных веществ.....	403
7.8.1. Состав отработавших газов.....	403
7.8.2. Оксид углерода.....	405
7.8.3. Несгоревшие углеводороды.....	407
7.8.4. Твердые частицы.....	410
7.8.5. Оксиды азота	413
8. Задержка воспламенения	427
8.1. Высоко- и низкотемпературное воспламенение. Химическая задержка воспламенения.....	427
8.1.1. Воспламенение	427
8.1.2. Высокотемпературное одностадийное воспламенение	428
8.1.3. Низкотемпературное многостадийное воспламенение	429
8.1.4. Характеристика воспламенения углеводородного топлива. Кинетическая природа воспламенения	431
8.2. Время задержки воспламенения	433
8.2.1. Физическая задержка воспламенения.....	433
8.2.2. Определение момента времени начала воспламенения.....	436
8.3. Основные факторы, влияющие на задержку воспламенения....	444
8.4. Роль химических и физических процессов в задержке воспламенения	452
8.4.1. Экспериментальный метод определения энергии активации и порядка реакции.....	452
8.4.2. Оценка лимитирующей роли химических и физических процессов по экспериментальным значениям энергии активации.....	454
8.5. Полуэмпирические формулы для расчета времени задержки воспламенения	459

8.6. Определение времени задержки воспламенения на основе уравнения сохранения энергии.....	467
8.7. Теория теплового взрыва. Теория зажигания	474
8.7.1. Теория теплового взрыва. Число Семенова	474
8.7.2. Теория зажигания.....	478
8.7.3. Граничные условия зажигания накаливаемой поверхностью	483
8.8. Экспериментальное исследование задержки воспламенения для различных топлив	489
8.8.1. Краткое описание экспериментальной установки.....	489
8.8.2. Задержка воспламенения при работе двигателя на газообразных топливах	496
8.8.3. Задержка воспламенения при работе двигателя на дизельном топливе.....	501
9. Методы расчета тепловыделения в поршневых двигателях	511
9.1. Основные виды тепловыделения	511
9.1.1. Однократное тепловыделение. Кинетическая и диффузионная фазы процесса сгорания	511
9.1.2. Двукратное тепловыделение.....	515
9.2. Расчет тепловыделения на основе бимолекулярной реакции ...	516
9.3. Полуэмпирические зависимости для расчета скорости тепловыделения	520
9.4. Расчет тепловыделения на основе теории цепных реакций. Закон Вибе.....	524
9.4.1. Вывод уравнения (закона) Вибе	524
9.4.2. Показатель характера сгорания	528
9.4.3. Распространение закона Вибе на двухфазный процесс сгорания.....	530
9.4.4. Модификация закона Вибе с учетом переменного показателя характера сгорания	536
9.5. Скорость тепловыделения как плотность распределения вероятности	543
9.6. Моделирование процесса сгорания с учетом процессов испарения, диффузии и химического преобразования	545
9.6.1. Физико-химические факторы	545
9.6.2. Тепловыделение в период задержки воспламенения	548
9.6.3. Сгорание в процессе топливоподачи	549
9.6.4. Сгорание после окончания топливоподачи.....	556
9.6.5. Эмпирические коэффициенты в расчетных формулах тепловыделения	560
10. Трехмерное моделирование процессов переноса и турбулентного горения в поршневых двигателях	565
10.1. Модель нестационарного турбулентного движения и горения рабочего тела	565
10.2. Модели турбулентности	570

10.2.1. Классификация моделей турбулентности	570
10.2.2. Полуэмпирическая модель турбулентности Прандтля	573
10.2.3. $k-\varepsilon$ -модель турбулентности	578
10.2.4. Другие двухпараметрические модели турбулентности	586
10.2.5. Модели рейнольдсовых напряжений	589
10.3. Моделирование турбулентного течения с горением. Модели горения	591
10.3.1. Модель турбулентного горения Магнуссена—Хартагера	593
10.3.2. Модель горения с учетом скорости турбулентного пламени ...	594
10.3.3. Модель когерентного пламени (CFM-модель)	597
10.4. Метод численного интегрирования уравнений переноса	601
10.4.1. Пристеночное турбулентное течение в КС	605
10.4.2. Дискретизация расчетной области (объема цилиндра двигателя)	608
10.5. Результаты численных экспериментов по влиянию формы КС на изменение локальных параметров рабочего тела и концентраций оксидов азота	610
11. Проблемы совершенствования и перспективы развития поршневых двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива	616
11.1. Бензиновые двигатели	616
11.1.1. Особенности рабочего процесса	616
11.1.2. Процесс смесеобразования	619
11.1.3. Способы расслоения заряда	625
11.1.4. Организация рабочего процесса	628
11.1.5. Расчет рабочего процесса	635
11.1.6. Топливная экономичность и экологические показатели	646
11.1.7. Проблемы совершенствования и перспективы развития бензиновых двигателей с непосредственным впрыскиванием ...	649
11.2. Дизели с непосредственным впрыскиванием топлива	664
11.2.1. Перспективы развития	664
11.2.2. Особенности организации рабочего процесса	667
11.2.3. Анализ топливной экономичности и экологических показателей	675
Список литературы	679
Предметный указатель	701
Именной указатель	706