

С.Н. УДАЛОВ

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА



НОВОСИБИРСК
2 0 1 6

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	11
Введение	14
Глава 1. Возобновляемые ресурсы Земли	19
1.1. Классификация и характеристика ВИЭ	19
1.2. Гидроэнергия	24
1.3. Энергия ветра.....	32
1.4. Геотермальная энергия.....	38
1.5. Солнечная энергия	45
1.5.1. Спектр солнечного излучения	45
1.5.2. Процессы в атмосфере при прохождении солнечного излучения	48
1.5.3. Способы преобразования солнечной энергии.....	50
1.6. Возобновляемые энергоресурсы России.....	51
Глава 2. Ветроэнергетика.....	61
2.1. Классификация ветроустановок.....	70
2.2. Параметры ветрового потока	76
2.2.1. Измерительные комплексы параметров ветропотока	78
2.2.2. Распределение скоростей ветра	80
2.2.3. Распределение энергии.....	89
2.2.4. Зависимость средней скорости ветра от высоты.....	91
2.3. Основы теории ветроэнергетических установок.....	94
2.3.1. Теория идеального ветроколеса в рамках линейной теории.....	94
2.3.2. Теория реального ветроколеса	107
2.3.2.1. Работа элементарных лопастей ветроколеса. Первое уравнение связи.....	107
2.3.2.2. Второе уравнение связи	112
2.3.2.3. Момент и мощность ветроколеса	117

2.3.2.4. Потери, возникающие при взаимодействии ветроколеса с воздушным потоком.....	119
2.4. Режимы работы ветроэнергетических установок	123
2.4.1. Режимы работы ветроколеса.....	123
2.4.2. Использование ветроколесом энергии ветра.....	127
2.4.3. Режимы работы ветроколеса и генератора ВЭУ	130
2.4.3.1. Основные конфигурации компоновок ВЭУ	130
2.4.3.2. Режимы работы ветротурбины	135
2.4.4. Согласование режима работы ВЭУ с электрической нагрузкой.....	150
2.4.5. Контроль и управление ВЭУ.....	153
2.4.6. Современные стратегии управления ВЭУ.....	159
2.4.6.1. Стандартное управление в зоне 2.....	162
2.4.6.2. Адаптивное управление в зоне 2	164
2.4.6.3. Нечеткое управление в зоне 2	167
2.5. Конструкции ветроэнергетических установок.....	176
2.5.1. Требования к конструкциям ВЭУ.....	176
2.5.2. Генераторы для ВЭУ	177
2.5.2.1. Асинхронные генераторы.....	181
2.5.2.2. Синхронные генераторы.....	191
2.5.3. Конструктивная компоновка гондолы ВЭУ.....	194
2.5.3.1. Базовая компоновка гондолы ВЭУ	195
2.5.3.2. Упрощенная базовая конструкция ВЭУ	202
2.5.3.3. Простейшая конструкция на базе генератора с постоянными магнитами	203
2.5.3.4. ВЭУ с прямым приводом	208
2.5.3.5. Мультигенераторная компоновка гондолы ВЭУ на базе синхронного генератора с постоянными магнитами	210
2.5.3.6. Мультигенераторная компоновка гондолы ВЭУ на базе асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором	214
2.6. Классификация ветроэнергетических систем.....	216
2.7. Оффшорная ветроэнергетика	224
2.8. Выбор мощности и количества ВЭУ	229
2.8.1. Ветроэнергетический расчет	229
2.8.2. Выбор мощности ВЭУ в составе автономной системы	232
2.8.3. Рекомендации при проектировании ВЭУ.....	234
2.9. Перспективы использования ВЭУ.....	239

Глава 3. Энергия океана	243
3.1. Энергия волн	243
3.1.1. Волновое движение	244
3.1.2. Энергия и мощность волны	248
3.1.3. Описание реальных волн.....	253
3.1.4. Устройства для преобразования энергии волн	256
3.2. Тепловая энергия океана	260
3.2.1. Преобразование тепловой энергии океана	260
3.2.2. ОТЕС, работающая по открытому циклу	263
3.2.3. Использование перепада температур океан–атмосфера.....	264
3.2.4. Прямое преобразование тепловой энергии океана в электроэнергию	266
Глава 4. Нагревание жидкости солнечным излучением	269
4.1. Теплоперенос.....	270
4.1.1. Метод тепловой цепи.....	270
4.1.2. Теплопроводность	273
4.1.3. Конвективный теплообмен	275
4.1.4. Радиационный теплоперенос.....	280
4.1.5. Свойства прозрачных веществ.....	289
4.1.6. Теплоперенос посредством теплоносителя	290
4.1.7. Смешанный теплоперенос и его тепловая цепь.....	292
4.2. Расчет теплового баланса плоского приемника	294
4.3. Открытые нагреватели.....	296
4.4. Закрытые нагреватели	300
4.4.1. Закрытые черные нагреватели.....	300
4.4.2. Металлические проточные нагреватели.....	305
4.4.3. Солнечные коллекторы с тепловыми трубами	307
4.4.4. Эффективность плоского пластинчатого приемника.....	309
4.5. Системы с изолированным накопителем	311
4.5.1. Принудительная циркуляция	311
4.5.2. Тепловая циркуляция	312
4.6. Селективные поверхности	315
4.6.1. Идеальные селективные поверхности.....	315
4.6.2. Структура металл–полупроводник.....	315
4.6.3. Вакуумированные приемники.....	318



4.7. Расчет теплотехнических характеристик солнечной водонагревательной установки.....	321
Глава 5. Прикладные задачи применения солнечной энергии	329
5.1. Подогреватели воздуха	329
5.2. Сушка продукции с использованием солнечного излучения.....	333
5.3. Солнечные отопительные системы.....	337
5.4. Охлаждение воздуха	359
5.5. Опреснение воды.....	361
5.6. Солнечные пруды	366
5.7. Концентраторы солнечной энергии	367
Глава 6. Солнечные электростанции	373
6.1. Электростанции на рассредоточенных коллекторах.....	373
6.2. Солнечные электростанции башенного типа.....	382
6.3. Фотоэлектрические преобразователи	398
6.3.1. Эквивалентная электрическая схема замещения.....	401
6.3.2. Напряжение холостого хода и ток короткого замыкания	403
6.3.3. Вольт-амперная и энергетическая характеристики солнечного модуля	403
6.3.4. Электрическое исполнение солнечных панелей	405
6.3.5. Определение пика мощности, генерируемого солнечной панелью.....	414
6.3.6. КПД солнечного элемента. Компоненты фотоэлектрической системы.....	415
6.4. Солнечные электростанции на базе двигателя Стирлинга	421
6.5. Электростанция «солнечная башня»	429
Глава 7. Аккумуляирование энергии	437
7.1. Электрохимическая батарея.....	438
7.2. Эквивалентная схема замещения	440
7.3. Эксплуатационные характеристики батареи.....	441
7.4. Конструкция батареи.....	446
7.5. Зарядка батареи.....	447
7.6. Наноаккумулятор на основе водородного топлива.....	450
7.7. Маховое колесо	452
7.7.1. Основные соотношения	452

7.7.2. Компоненты системы махового колеса	454
7.8. Сжатый воздух.....	455
7.9. Катушка индуктивности со свойствами сверхпроводимости	456
7.10. Новые технологии в аккумулировании электроэнергии.....	458
7.11. Аккумулирование тепловой энергии.....	470
Глава 8. Биоэнергетика	479
8.1. Классификация биотоплива.....	482
8.2. Состав биомассы	485
8.3. Использование биомассы в качестве топлива	486
8.3.1. Сжигание биотоплива для получения тепла	488
8.3.2. Газификация биомассы.....	492
8.3.3. Производство этанола.....	494
8.3.4. Ферментация	500
8.3.5. Получение биогаза путем анаэробного сбраживания	501
8.4. Фотосинтез.....	508
8.4.1. Трофический уровень фотосинтеза.....	510
8.4.2. Фотосинтез на уровне растений	511
8.4.3. Фотосинтез на молекулярном уровне	514
Глава 9. Топливные элементы.....	519
9.1. Принцип работы топливного элемента	521
9.2. Классификация топливных элементов	525
9.2.1. Щелочные топливные элементы.....	526
9.2.2. Метанольные топливные элементы.....	527
9.2.3. Топливные элементы с расплавленным карбонатным электролитом.....	529
9.2.4. Топливные элементы с фосфорнокислым электролитом	532
9.2.5. Топливные элементы с твердооксидным электролитом.....	534
9.2.6. Топливные элементы с твердополимерным электролитом	536
9.3. Применение топливных элементов.....	543
9.3.1. Стационарные теплоэнергетические установки	543
9.3.2. Мобильные энергетические установки.....	549
Глава 10. Водородная энергетика.....	559
10.1. Химические способы получения водорода.....	560



10.2. Получение водорода методом электролиза воды.....	565
10.2.1. Устройство электролизера.....	566
10.2.2. Эффективность электролизеров.....	569
10.3. Хранение водорода	572
Глава 11. Термоэлектрическая энергетика	583
11.1. Физические основы термоэлектричества	584
11.1.1. Введение в термоэлектричество	584
11.1.2. Эффект Зеебека.....	586
11.1.3. Эффект Пельтье.....	588
11.1.4. Эффект Томсона.....	589
11.1.5. Направления и знаки тепловых потоков	591
11.2. Термоэлектрический генератор	592
Заключение.....	598
Библиографический список.....	599