

21-3646-5
2021г.

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Д.С. Стребков

Под редакцией П.П. Безруких

ОСНОВЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

21-03646

Издание второе, переработанное и дополненное

Москва

2021

**Организация Объединенных Наций
по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО)**

Европейское бюро ЮНЕСКО (UNESCO–BRESCE)

**Европейская сеть по образованию и обучению
в области возобновляемых источников энергии**

**Рабочая группа EURONETRES по образованию
в области солнечной энергии**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ**

**Международная кафедра ЮНЕСКО «Возобновляемая энергетика
и сельская электрификация»**

Д.С. Стребков

ОСНОВЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Учебное пособие для вузов

**Под редакцией доктора технических наук П.П. Безруких
Издание второе, переработанное и дополненное
Рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим специальностям**

**Москва
2021**

с84 Стребков Д.С. Основы солнечной энергетики
/ Под ред. д.т.н. Безруких П.П. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: ООО «Сам Полиграфист»,
2021.- 368 с.: ил.

Книга отражает 60-летний опыт автора в области солнечной энергетики и состоит из 11 глав. В первой главе рассмотрена история гелиоэнергетики, включая солнечные тепловые электростанции и фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии в электрическую.

Во второй, третьей и четвертой главе изложены физические основы использования солнечной энергии, систематизированы основные понятия и определения солнечной энергетики, дана оценка ресурсов солнечной энергетики в России и в мире.

В пятой главе рассмотрены основные физические процессы в солнечных элементах при преобразовании солнечного излучения в электроэнергию.

В шестой главе рассмотрены конструкции и характеристики солнечных магнитных двигателей и генераторов.

В седьмой главе рассмотрены основы фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в солнечных модулях на основе кристаллического кремния и других материалов, в солнечных модулях с концентраторами, в том числе оригинальная технология получения солнечных модулей с повышенным сроком службы.

В восьмой главе освещены вопросы, связанные с повышением выработки электроэнергии солнечными электростанциями, оптимальным размещением солнечных фотоэлектрических станций и энергетических систем, повышением эффективности солнечных электростанций. Приведены примеры применения солнечных фотоэлектрических станций.

В девятой главе представлены технико-экономические характеристики солнечных электростанций, изменение стоимости установленной мощности с 1955 по 2019 год.

В десятой главе показана динамика развития солнечной фотоэлектрической энергетики за 59 лет и основные направления развития солнечной энергетики в 21 веке.

В одиннадцатой главе рассмотрены экологические характеристики солнечных электростанций и методы изменения радиационного баланса и управления климатом Земли.

Каждая глава снабжена списком используемой литературы, в конце глав приводятся упражнения и задачи с решениями, контрольные вопросы для самопроверки.

Во втором издании книги дополнены разделы, связанные с развитием солнечной энергетики в 2019-2020 годах и тенденциями перехода к низкоуглеродной энергетике.

Книга предназначена для ученых, инженеров, аспирантов и студентов, работающих в области солнечной энергетики. Она может быть использована как учебное пособие для студентов по направлению «Электроэнергетика» и другим направлениям, связанным с проблемами энергоэффективности и энергосбережения, для бакалавров, магистрантов и аспирантов по специальности «Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии». Будет полезна для широкого круга читателей, интересующихся использованием солнечной энергии.

Илл. 251, табл. 73, библи. 142.

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры электротехники теплотехники и возобновляемых источников энергии Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, заслуженный работник высшей школы **Р.А. Амерханов**

Доктор технических наук, профессор кафедры электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, генеральный директор ООО «Энерготехнологии - Сервис» **В.А. Бутузов**

Издается по рекомендации Ученого Совета ВИЭСХ, протокол № 2 от 15.03.2016.

ISBN 978-5-00166-328-7

СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения	8
Предисловие ко второму изданию.....	10
Введение.....	12
Литература к Введению.....	13
<i>Глава 1. Использование солнечной энергии.....</i>	<i>15</i>
1.1. История гелиотехники.....	15
1.2. Солнечные тепловые электростанции.....	21
1.2.1. Солнечные электростанции (СЭС) башенного типа.....	23
1.2.2. СЭС с параболическими концентраторами	26
1.2.3. Солнечные энергоустановки с двигателем Стирлинга.....	30
1.2.4. Солнечные энергоустановки с использованием градиента солёности (солнечные пруды).....	31
1.2.5. Термоэмиссионные генераторы.....	33
1.2.6. Полупроводниковые термоэлектрические генераторы	34
1.2.6.1. Принцип действия и параметры термоэлектрических генераторов.....	34
1.2.6.2. Термоэлектрические материалы	37
1.2.6.3. Термоэлектрические генераторы на органическом топливе	38
1.2.6.4. Термоэлектрические холодильники и кондиционеры.....	41
1.3. История развития фотоэлектрического метода прямого преобразования солнечной энергии в электроэнергию	42
Литература к главе 1	56
<i>Глава 2. Физические основы использования солнечной энергии</i>	<i>57</i>
2.1. Излучение, отражение, поглощение, пропускание	57
2.1.1. Излучение электромагнитных волн.....	57
2.1.2. Отражение.....	62
2.1.3. Преломление света.....	64
2.2. Приборы для измерения солнечного излучения	66
2.3. Черное тело. Законы излучения Кирхгофа, Стефана – Больцмана и Вина	75
2.3.1. Понятие абсолютно черного тела	75
2.3.2. Соотношения между энергетическими и светотехническими величинами	77
2.3.3. Закон Кирхгофа	82
2.4. Закон излучения Планка	84
2.5. Свойства прозрачных веществ.....	86
Задачи и их решение	89
Литература к главе 2	94
<i>Глава 3. Солнечное излучение.....</i>	<i>96</i>
3.1. Спектр солнечного излучения	96
3.2. Влияние положения Земли относительно Солнца на поступление солнечного излучения	102
3.3. Широта, время года и солнечная облученность.....	107
3.4. Оптимальная ориентация площадки, принимающей солнечное излучение	113
Задачи и их решение	128
Литература к главе 3	129
<i>Глава 4. Определение потенциала солнечной энергии.....</i>	<i>130</i>
4.1. Характеристики потенциала солнечной энергии	130
4.2. Суточное изменение плотности потока солнечного излучения в зависимости от времени года	134
4.3. Влияние земной атмосферы на солнечное излучение	137
4.4. Валовой, технический и экономический потенциал солнечной энергии	144
Задачи и их решение	152
Литература к главе 4	153
<i>Глава 5. Полупроводниковые солнечные элементы</i>	<i>155</i>
5.1. Планарные солнечные элементы	155
5.2. Материалы и технологические процессы при изготовлении солнечных элементов.....	165
5.3. Матричные солнечные элементы	171

5.4. Наносолнечные элементы.....	178
5.5. Каскадные солнечные элементы.....	183
5.6. Характеристики солнечных элементов при различной освещенности и температуре.....	189
5.7. Перспективные конструкции солнечных элементов.....	196
Задачи и их решение.....	203
Литература к главе 5.....	204
<i>Глава 6 Солнечные магнитные двигатели и генераторы</i>	206
6.1. Солнечные магнитные двигатели.....	207
6.1.1. Конструкция солнечного магнитного двигателя Фарадея.....	207
6.1.2. Характеристики солнечного магнитного двигателя.....	209
6.2. Солнечные магнитные генераторы.....	212
Литература к главе 6.....	222
<i>Глава 7. Солнечные модули</i>	223
7.1. Планарные солнечные модули.....	223
7.2. Двусторонние солнечные модули.....	230
7.3. Солнечные модули с увеличенным сроком жизни.....	234
7.4. Солнечные модули с концентраторами.....	240
7.5. Тонкоплёночные солнечные модули.....	257
Задачи и их решение.....	262
Литература к главе 7.....	262
<i>Глава 8. Солнечные электростанции и энергетические системы</i>	264
8.1. Классификация СЭС.....	264
8.2. Сетевые СЭС.....	267
8.3. Автономные СЭС.....	272
8.4. Электрические характеристики СЭС.....	278
8.4.1. Расчет солнечной энергии, поступающей на СЭС.....	278
8.4.2. Годовое производство электрической энергии.....	281
8.4.3. Выбор компонентов СЭС.....	281
8.4.4. Расчет мощности автономной СЭС с аккумулятором.....	282
8.4.5. Расчет гибридной автономной СЭС с аккумуляторной батареей и резервным дизель-электрическим генератором.....	283
8.4.6. Расчет электрических параметров солнечной водоподъемной установки.....	283
8.5. Солнечные энергетические системы.....	284
8.5.1. Региональные солнечные энергосистемы.....	284
8.5.2. Глобальная солнечная энергетическая система.....	289
8.5.2.1. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии на основе техно- логии Н. Тесла.....	289
8.5.2.2. Критерии сохранения земной цивилизации.....	290
8.5.2.3. Глобальная солнечная энергосистема.....	291
8.5.2.4. Оценка технико-экономических показателей глобальной солнечной энергетической системы (ГСЭС).....	293
8.5.3. Энергетические системы Н. Тесла.....	295
8.6. Методы повышения эффективности солнечных электростанций.....	301
Задачи и их решение.....	308
Литература к главе 8.....	309
<i>Глава 9. Экономические характеристики солнечных электростанций</i>	311
9.1. Динамика изменения стоимости солнечных фотоэлектрических станций.....	311
9.2. Техничко-экономические показатели СЭС.....	314
9.2.1. Расчет стоимости установленной мощности СЭС.....	314
9.2.2. Расчет стоимости электрической энергии от СЭС.....	316
9.2.3. Влияние срока службы на технико-экономические параметры СЭС.....	321
9.2.4. Развитие фотоэлектрической промышленности.....	324
Задачи и их решение.....	325
Литература к главе 9.....	328

Глава 10. Динамика развития солнечной фотоэлектрической энергетики	330
10.1. Динамика роста установленной мощности СЭС	330
10.2. Программа «Один миллион солнечных крыш» в России	332
10.3. Перспективы развития солнечной энергетики	337
Задачи и их решение	341
Литература к главе 10	342
Глава 11. Солнечная энергетика и экология	343
11.1. Экологические характеристики солнечной энергетики	343
11.2. Методы изменения радиационного баланса и управления климатом Земли	346
11.2.1. Методы сохранения земной цивилизации	347
11.2.2. Переход на бестопливные источники энергии	348
11.2.3. Инициатива для предотвращения саморазогрева климата	349
11.2.4. Определение площади зеркальных отражателей	350
11.2.5. Стоимость проекта по предотвращению глобального потепления	354
11.3. Тенденции перехода к безуглеродной энергетике	354
Литература к главе 11	357
Приложения	359
Сведения об авторе	365