



БИБЛИОТЕКА
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Серия 3

Возобновляемая
энергетика

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

СПРАВОЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ



БИБЛИОТЕКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Возобновляемая энергетика

**П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.),
С.В. Грибков**

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Справочно-методическое издание

Под общей редакцией д.т.н. П.П. Безруких



«Теплоэнергетик»

Москва, 2014

690 004

УДК 621.47

ББК 31.63

Э:65

Технический совет БЭЭ:

А.Г. Вакулко, П.А. Костюченко, В.И. Надтока, В.Л. Титов

Редакторы-координаторы БЭЭ:

А.М. Беленький, М.А. Слепцов

Безруких П.П., Безруких П.П. (мл.), Грибков С.В. Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / Под общей редакцией **П.П. Безруких**. — М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с.

В книге рассмотрено современное состояние ветроэнергетики мира, динамика и перспективы ее развития. Изложены теоретические основы ветроэнергетики. Приведены основные особенности режимов работы ВЭУ и ВЭС. Приведены описания конструкций различных типов ВЭУ и схемы главных соединений ВЭУ и ВЭС. Даны текущие и перспективные оценки установленной мощности и вырабатываемой электрической энергии и их зависимость от различных факторов.

Подробно проанализированы и оценены виды воздействия ВЭУ на среду обитания человека, по сравнению с электростанциями на различных видах органического топлива. Даны ответы на часто возникающие вопросы по различным разделам ветроэнергетики. В книге содержится большой справочный материал по технико-экономическим характеристикам современных ВЭУ малой и большой мощности.

Книга рассчитана на широкий круг читателей от сельских электриков до экономистов и экологов, проектировщиков ВЭС.

© Безруких П.П., Безруких П.П. (мл.), Грибков С.В., 2014 г.

© «Интехэнерго-Издат», 2014 г.

ISBN 978-5-98385-014-9

© «Теплоэнергетик», 2014 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Этапы развития	4
1.1. От древности до конца XIX века	4
1.2. Развитие ветроэнергетики за период: XIX в. – 80-е годы XX века	5
1.3. Ветроэнергетика конца XX века – начала XXI века. Этапы и перспективы развития	9
1.3.1. Ветроэнергетика первого этапа	10
1.3.2. Ветроэнергетика второго этапа	12
1.3.3. Ветроэнергетика третьего этапа	13
1.4. Прогнозы и реальности развития ветроэнергетики	17
1.4.1. Долгосрочные и среднесрочные программы и сценарии	17
1.4.2. К вопросу о сравнении ВЭС и АЭС	22
1.4.3. Общие итоги развития ветроэнергетики Европейского Союза на конец 2010 г.	24
1.4.4. Сценарии развития ветроэнергетики ЕС на конец 2020 г.	25
1.4.5. Новые сценарии развития ветроэнергетики мира	27
1.4.6. Технические аспекты ветроэнергетики третьего этапа	31
1.4.6.1. Технические данные наиболее мощных ветроустановок	34
1.4.6.2. К вопросу о роли ветроэнергетике в энергобалансах	42
Приложение 1.1. Постановление Совета Министров СССР «Об ускоренном развитии ветроэнергетической техники в 1988–1995 годах» ..	44
Список литературы к главе 1	65
Глава 2. Основы ветроэнергетики	66
2.1. Ветер, как явление природы	66
2.2. Ветер, как энергетический ресурс	68
2.2.1. Климатологические характеристики ветровой энергии	68
2.2.2. Энергетические характеристики ветра	78
2.2.3. Распределение ресурсов ветровой энергии по федеральным округам Российской Федерации	82
Приложение 2.1. К вопросу об устойчивости ветроустановок к штормовому ветру. Буревая скорость $v_{бур}$ по данным испытаний прототипов	84
Приложение 2.2. Ветроэнергетические ресурсы о. Харлов, Мурманской области	85
Приложение 2.3. Ветроэнергетические ресурсы территории п. Мезень, Архангельской области	90
Список литературы к главе 2	94

Глава 3. Энергетические характеристики и элементы конструкции мощных ветроустановок	95
3.1. Классификация ветроустановок	95
3.2. Основы теории ветроэнергетических установок	101
3.3. Мощность и энергия вырабатываемые ветроустановкой	112
3.4. Элементы конструкции ветроустановок	116
3.5. Главные схемы электрических соединений ВЭУ	120
3.5.1. Схемы сетевых ВЭУ	120
3.5.2. Схемы электрических соединений ВЭС	124
3.5.3. Ветродизельные системы	127
Приложение 3.1. Технические характеристики ВЭУ мощностью свыше 100 кВт	130
Приложение 3.2. Наземные ветростанции Великобритании	153
Приложение 3.3. Развитие морских (оффшорных) ветростанций в странах Европы	157
Приложение 3.4. Ветростанции Германии мощностью 10 кВт и выше	161
Список литературы к главе 3	186
Глава 4. Малые ветроустановки и их использование	187
4.1. Определение малой ветроустановки	187
4.2. Статистические данные по малым ВЭУ	188
4.2.1. Количество установленных малых ВЭУ	188
4.2.2. Общая установленная мощность малых ВЭУ в мире	188
4.2.3. Производители малых ВЭУ	189
4.3. К вопросу о стоимости малых ВЭУ	189
4.4. Механизмы поддержки, стандартизация, сертификация малых ВЭУ	191
4.5. Прогноз развития рынка малых ВЭУ до 2020 г.	193
4.6. Технические аспекты малых ВЭУ	193
Приложение 4.1. Производители малых ВЭУ и их типы	197
Приложение 4.2. Ветроустановки китайского производства	202
Приложение 4.3. Ветроустановки Дании	204
Приложение 4.4. Ветроустановки канадской фирмы	205
Приложение 4.5. Ветроустановки малой мощности для индивидуальных домов разных стран	206
Приложение 4.6. Ветроустановки отечественного производства	207
Список литературы к главе 4	211
Глава 5. Экономика ветроэнергетики	212
5.1. Капитальные вложения	214
5.2. Себестоимость производства электроэнергии	218
5.3. Способ предварительной оценки срока окупаемости ВЭС	228
Список литературы к главе 5	230

Глава 6. Ветроустановка и окружающая среда	231
6.1. Постановка задачи	231
6.2. Среда обитания человека	232
6.3. Негативные факторы влияния ВЭС на среду обитания человека и их оценка ...	232
6.4. Экологические преимущества ветроэнергетики	249
6.4.1. Общая оценка	249
6.4.2. Определение объемов предотвращения загрязнения среды обитания человека вредными выбросами	250
6.4.3. Использование воды	251
6.4.4. Потребность в земле	252
6.5. Заключение	254
Приложение 6.1. Допустимые уровни звукового давления	256
Список литературы к главе 6	257
Глава 7. Ветроэнергетика в вопросах и ответах	258
7.1. Ветроэнергетика и энергетика	258
7.2. Ветроэнергетика и промышленность	269
7.3. Ветроэнергетика и экономика	272
7.4. Ветроэнергетика — селу	279
7.5. Ветроэнергетика и среда обитания человека (экология)	281
7.6. Ветроэнергетика и ее влияние на социальные условия жизни населения.	290
7.6.1. Занятость в секторе ветроэнергетики ЕС в 2007 г.	290
7.6.2. Прогноз занятости в секторе ветроэнергетики Европейского Союза на период 2007–2030 гг.	292
Список литературы к главе 7	293
Приложение. Наиболее употребляемые термины ветровой энергетики	294