

22-6461



ПОЛИТЕХ
Инженерно-строительный
институт

НА ДОМ НЕ ПОДАЕТСЯ



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

В. В. Елистратов И. В. Богун Р. С. Денисов И. Г. Кудряшева М. В. Романов

РЕСУРСЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие

22-06461



Санкт-Петербург • 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Инженерно-строительный институт
Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства

В. В. Елистратов И. В. Богун Р. С. Денисов

И. Г. Кудряшева М. В. Романов

РЕСУРСЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2022

УДК 620.91:621.22(075.8)
Р43

Авторы:

В. В. Елистратов, И. В. Богун, Р. С. Денисов, И. Г. Кудряшева, М. В. Романов

Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии : учеб. пособие / В. В. Елистратов [и др.]. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 528 с.

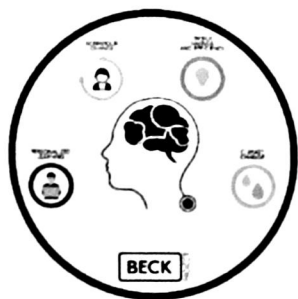
В настоящее время технологии возобновляемой энергетики активно и широко внедряются в сферы жизнедеятельности человека. В пособии рассмотрены тренды развития возобновляемой энергетики, основы определения ресурсного потенциала возобновляемых источников энергии, в том числе его территориальной, временной и климатической изменчивости. Изучаются современные принципы и технологии преобразования солнечной, ветровой и гидроэнергии при обосновании параметров и режимов работы энергокомплексов и систем энергоснабжения на основе ВИЭ. Рассматриваются критерии, показатели и методы энергоэкономического обоснования и оценки эффективности проектов ВИЭ. Выполнен анализ и количественное сравнение экологических воздействий на окружающую среду объектов органической, атомной и возобновляемой энергетики.

Учебное пособие подготовлено в рамках программы «Erasmus+» при выполнении проекта BECK «Integrating education with consumer behaviour relevant to energy efficiency and climate change at the universities of Russia, Sri Lanka and Bangladesh».

Пособие издается на русском и английском языках и предназначено для студентов, обучающихся в Инженерно-строительном институте СПбПУ по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», по магистерской программе «Гидротехническое и энергетическое строительство» и программам на английском языке «Энергоэффективность и устойчивое строительство» («Energy Efficient and Sustainable Building»), «Охрана окружающей среды в городском строительстве» («Environmental Engineering in Urban Construction»).

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



ISBN 978-5-7422-7746-0
doi:10.18720/SPBPU/2/id22-32

© Елистратов В. В., Богун И. В., 2022
© Денисов Р. С., Кудряшева И. Г.,
Романов М. В., 2022
© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ | 8 |
| 1. Современное состояние и тенденции развития мировой энергетики..... | 11 |
| 1.1. Современное состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса | 11 |
| 1.2. Анализ мирового потребления традиционных и возобновляемых источников энергии | 22 |
| 1.3. Источники возобновляемой энергии. Климатические изменения и их влияние на ресурсы возобновляемых источников энергии | 31 |
| 1.4. Вопросы к главе 1 | 45 |
| 2. Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии | 46 |
| 2.1. Водные и гидроэнергетические ресурсы России. Схемы использования водной энергии..... | 46 |
| 2.2. Формирование ветрового потока и определение энергетических характеристик..... | 61 |
| 2.3. Характеристики солнечного излучения для энергетического использования..... | 72 |
| 2.4. Вопросы к главе 2 | 84 |
| 3. Технологии преобразования возобновляемых источников энергии | 86 |
| 3.1. Типы гидроэнергетических установок. Преобразование гидроэнергии на крупных и малых ГЭС | 86 |
| 3.2. Преобразование ветровой энергии. Ветроэнергетические установки и ветроэлектрические станции | 102 |
| 3.3. Преобразование солнечной энергии в тепло и электричество | 119 |
| 3.4. Режимы работы объектов на основе возобновляемых источников энергии в электроэнергетических системах..... | 141 |
| 3.5. Вопросы к главе 3 | 153 |
| 4. Использование комплексов на основе возобновляемых источников энергии для автономного энергоснабжения | 155 |
| 4.1. Предпосылки комплексного использования возобновляемых источников энергии..... | 155 |
| 4.2. Технологические схемы энергетических комплексов. Системы | |



| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| аккумуляции энергии..... | 160 |
| 4.3. Режимы работы энергетических комплексов..... | 185 |
| 4.4. Вопросы к главе 4..... | 196 |
| 5. Технико-экономическое обоснование объектов на основе возобновляемых источников энергии..... | 198 |
| 5.1 Показатели и критерии эффективности энергетических проектов..... | 198 |
| 5.2. Учет рисков и пространственно-временной неопределенности ресурсов...211 | |
| 5.3. Жизненный цикл и фазы проектирования объектов возобновляемой энергетики..... | 215 |
| 5.4. Энергоэкономическое обоснование ветро-дизельных энергокомплексов...220 | |
| 5.5. Вопросы к главе 5..... | 237 |
| 6. Экологические аспекты возобновляемой энергетики..... | 238 |
| 6.1. Концепция устойчивого развития и возобновляемые источники энергии....238 | |
| 6.2. Оценка факторов воздействия объектов возобновляемой энергетики на окружающую среду..... | 253 |
| 6.3. Вопросы к главе 6..... | 268 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 269 |

CONTENTS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUCTION..... | 273 |
| 1. The world current state and development trends of energy engineering..... | 276 |
| 1.1. Current state and development trends of fuel and energy sector..... | 276 |
| 1.2. Analysis of the global consumption of traditional and renewable energy sources..... | 286 |
| 1.3. Sources of renewable energy. Climatic changes and their impact on renewable energy sources..... | 294 |
| 1.4. Questions for chapter 1..... | 306 |
| 2. Renewable energy source assessment..... | 307 |
| 2.1. Water and hydropower resources of Russia. Water energy schemes..... | 307 |
| 2.2. Formation of the wind flow and determination of energy characteristics..... | 319 |
| 2.3. Solar radiation characteristics for energy consumption..... | 330 |
| 2.4. Questions for chapter 2..... | 341 |
| 3. Renewable energy conversion technologies..... | 342 |



| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Types of hydropower units. Hydropower conversion at large and small hydropower plants | 342 |
| 3.2. Wind energy conversion. Wind turbines and wind power plants..... | 351 |
| 3.3. Converting solar energy to electricity and heat..... | 367 |
| 3.4. Operating modes of objects based on renewable energy sources in the network | 387 |
| 3.5. Questions for chapter 3 | 398 |
| 4. Autonomous power supply using renewables-based hybrid systems | 400 |
| 4.1. Prerequisites for integrated use of renewable energy sources and creation of hybrid systems | 400 |
| 4.2. Technological schemes of hybrid energy systems using renewable energy sources. Storage systems..... | 404 |
| 4.3. Operation modes of hybrid systems based on renewable energy sources in autonomous generation | 426 |
| 4.4. Questions for chapter 4 | 436 |
| 5. Feasibility study on renewable energy facilities | 438 |
| 5.1. Indicators and performance criteria for energy projects..... | 438 |
| 5.2. Accounting uncertainty and risk in evaluating efficiency | 449 |
| 5.3. Life cycle and design phases of renewable energy facilities..... | 455 |
| 5.4. Energy and economic substantiation of the hybrid system based on traditional and renewable energy sources | 459 |
| 5.5. Questions for chapter 5 | 474 |
| 6. Renewable energy and environment | 475 |
| 6.1. Sustainable development and renewable energy sources..... | 475 |
| 6.2. Assessment of renewable energy sources impact factors on the environment .. | 489 |
| 6.3. Questions for chapter 6 | 502 |
| CONCLUSION..... | 503 |
| ГЛОССАРИЙ (GLOSSARY)..... | 507 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 521 |