

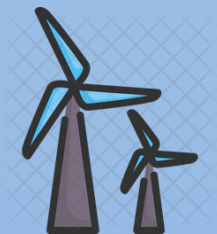


Н.П. Местников

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Часть 3

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»



Якутск
2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Физико-технический институт
Кафедра «Электроснабжение»

Н.П. Местников

**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

Часть 3

Учебное пособие
по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»

Якутск

2022

УДК 621.311.24
ББК 31.62
М53

Утверждено учебно-методическим советом СВФУ

Рецензенты:

Л.Р. Гайнуллина, к.т.н., доцент кафедры ВИЭ КГЭУ, г. Казань,
П.Ф. Васильев, к.т.н., и.о. зав. кафедрой ЭС СВФУ, г. Якутск

Местников, Н.П.

Возобновляемые источники энергии в условиях Севера. Часть 3 [Электронный ресурс] : учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» / Н.П. Местников. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск
ISBN 978-5-7513-3297-6

Учебное пособие содержит теоретический материал и описание по выполнению практических заданий по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» с приоритетом на принципы развития ветровой энергетики в климатических условиях Севера. При разработке учебного пособия применялись стандарты и нормы ГОСТ Р 54418.2-2014 (МЭК 61400-2:2006) и ГОСТ Р 54418.25.1-2013 (МЭК 61400-25-1:2006).

Предназначено для студентов по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение»), 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Энергообеспечение предприятий») и начинающих специалистов отраслевых организаций в сфере энергетики.

УДК 621.311.24
ББК 31.62

ISBN 978-5-7513-3297-6

© Местников Н.П., 2022
© Северо-Восточный федеральный университет, 2022

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	8
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	10
УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ.....	13
ПОНЯТИЙНО-КАТЕГОРИАЛЬНЫЙ АППАРАТ В ОБЛАСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	19
ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА	24
1.1. Энергия ветра. Происхождение. Этапы развития.	24
1.2. Преобразование энергии ветра в кинетическую энергию ..	27
1.3. Преобразование энергии ветра в механическую энергию...31	
1.4. Преобразование энергии ветра в электрическую энергию .32	
1.5. Рекомендуемые видеоматериалы.....	34
1.6. Контрольные вопросы	35
ГЛАВА 2. ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	36
2.1. Что такое ветровая электростанция?.....	36
2.2. Преимущества и недостатки ветровых электростанций.....	37
2.3. Типы ветровых электростанций	39
2.3.1. Наземная ветровая электростанция	40
2.3.2. Прибрежная ветровая электростанция.....	41
2.3.3. Шельфовая ветровая электростанция	42
2.3.4. Плавающая ветровая электростанция	43
2.3.5. Парящая ветровая электростанция.....	45
2.3.6. Горная ветровая электростанция	46
2.4. Рекомендуемые видеоматериалы.....	48
2.5. Контрольные вопросы	48

ГЛАВА 3. ВЕТРОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ.....	49
3.1. Классификация ВЭУ	49
3.2. ВЭУ с ротором Савониуса	53
3.3. ВЭУ с ротором Дарье.....	54
3.4. ВЭУ с геликоидным ротором.....	55
3.5. ВЭУ с многолопастным ротором	55
3.6. ВЭУ с ортогональным ротором.....	56
3.7. Горизонтальные ВЭУ	57
3.8. Примечания к ВЭУ	59
3.9. Рекомендуемые видеоматериалы.....	61
3.10. Контрольные вопросы	62
ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	
ВЕТРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	63
4.1. Ветровые энергетические ресурсы России.....	63
4.2. Климатические особенности и ветровые энергетические ресурсы Республики Саха (Якутия)	66
4.2. Оценка эффективности и эксплуатации ВЭУ	69
4.3. Закономерности по расчету электроэнергетических параметров функционирования ВЭУ.....	69
4.4. Закономерности по расчету потерь и параметров работы системы накопления энергии на ВЭС.....	72
4.5. Рекомендуемые видеоматериалы.....	76
4.6. Контрольные вопросы	76
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	88

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Общая энергетика» и факультатива «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» и адресовано студентам 2-4 курсов, которые обучаются по направлению подготовки бакалавров по специальностям 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» очного и заочного форм обучения в соответствии с требованиями и условиями ФГОС 3+++. Оно может быть использовано в курсе изучения основ функционирования ветровой энергетики на уровне магистратуры и аспирантуры. В пособии соблюдены нормы и правила основ ветровой энергетики.

Основной целью курса является повышение исходного уровня владения студентами основ функционирования объектов ветровой энергетики, а также овладение ими необходимым и достаточным уровнем теоретических и практических компетенций для решения специализированных задач в области ветровой энергетики с применением определенных закономерностей и методов расчета.

При составлении учебного пособия автор исходил из концепции взаимосвязанного обучения основным видам технологических и инновационных проектов. Данный подход предопределил структуру и содержание пособия.

Учебное пособие направлено на формирование у студентов компетенций по разработке, расчету и оформлению технологических проектов в сфере ветровой энергетики с учетом климатических особенностей Севера.

Специализированное оформление пособия, разнообразие иллюстративного материала и обозримое построение дисциплины способствуют повышению мотивации студентов. Некоторые графические интерпретации в пособии играют роль стимула в рамках изучения данной дисциплины. В пособие включен терминологический словарь в области ветровой энергетики.

Цель дисциплины – формирование у студента навыков и компетенций в области общей энергетики.

Задачами дисциплины являются:

- формирование представления у обучающихся о теоретических основах ветровой энергетики.
- формирование представления у обучающихся о структуре ветровой энергетики.

- развитие у обучающихся практических умений и навыков проведению технико-экономических расчетов для объектов ветроэнергетики.

- формирование у обучающихся профессиональной готовности к овладению технологиями ветроэнергетики.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать: понятийный аппарат в области ветроэнергетики знания в целом; структуру и этапы развития ветроэнергетики; жизненный цикл работы объектов ветроэнергетики; порядок проведения технико-экономических расчетов в сфере ветровой энергетики.

2) Уметь: проводить сбор и анализ информации в области ветроэнергетики; осуществлять планирование проекта в области ветроэнергетики; осуществлять электроэнергетическую и технико-экономическую оценку работы объектов ветроэнергетики.

3) Владеть: современными средствами сбора информации; технологиями ветроэнергетики; перечнем электроэнергетических и технико-экономических закономерностей в области ветроэнергетики; методами оценки проектов области ветроэнергетики.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках реализации требований и условий Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС 3++) и Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ высшими учебными заведениями (далее – ВУЗ) активно производятся процедуры обучения студентов по различным направлениям бакалавриата, магистратуры, аспирантуры и специалитета.

Однако необходимо отметить, что в условиях усиления степени цифровой трансформации с учетом направлений развития в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и постоянной актуализации Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и Федерального закона "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ (последняя редакция) внутри предприятий в сфере энергетики и ЖКХ необходимо обеспечение взаимной интеграции ВУЗов и энергетических компаний в целях получения высококвалифицированных специалистов, владеющие необходимыми навыками, которые являются актуальными и востребованными в настоящий момент.

В большинстве ВУЗов РФ фактически отсутствуют учебные факультативы, направленные обучение студентов к компетенциям и навыкам основ ветроэнергетики в условиях тренда развития технологий по данному направлению.

В случае несоответствия навыков и компетенций, полученные студентом во время обучения в ВУЗе, потенциальные работодатели в виде энергетических или электромонтажных предприятий вынуждены обеспечить переобучение специалиста к компетенциям в сфере общей энергетики, где потребуется до 6 месяцев в зависимости от интеллектуального уровня молодого специалиста, что и является катализатором медленного функционирования предприятия, неприемлемое для предприятий и организаций. Вследствие данной тенденции потенциальные работодатели вынуждены нанимать на рабочую деятельность специалистов со стажем работы от 2 лет.

Решением данной проблемы является разработка учебного пособия на основании норм и требований рабочих программ дисциплины «Общая энергетика» и факультатива «Основы

энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера».

Авторы учебного пособия выражают свою благодарность за ценные замечания и советы своим научным руководителям и наставникам:

- Н.С. Буряниной, доктору технических наук, профессору кафедры «Электроснабжение» ФТИ СВФУ имени М.К. Аммосова.

- Нуруллину Э.Г., доктору технических наук, профессору кафедры «Машины и оборудования в агробизнесе» Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета.

- Гайнуллиной Л.Р., кандидату технических наук, доценту, заведующему кафедрой «Возобновляемые источники энергии» Института электроэнергетики Казанского государственного энергетического университета.


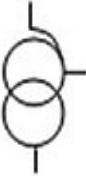
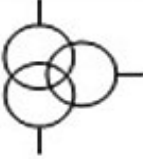



ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ




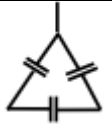
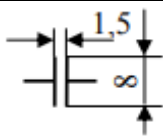


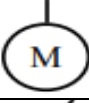

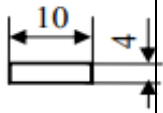
№	Сокращенное название	Определение
1.	ФЗ	Федеральный закон
2.	СП	Свод правил
3.	СанПин	Санитарные нормы и правила
4.	СНиП	Строительные нормы и правила
5.	МинЖКХиЭ	Министерство жилищно-коммунального хозяйства и энергетики
6.	ДККЭиАР	Департамент коммунального комплекса, энергоэффективности и административной работы
7.	ДЭФ	Департамент экономики, финансов, имущества и информатизации
8.	ДЭ	Департамент энергетики, жилищной политики и оперативного контроля
9.	Центр ЖКХ	ГАУ РС(Я) «Центр развития жилищно-коммунального хозяйства и повышения энергоэффективности»
10.	Минстрой	Министерство строительства
11.	Справка	Справочная информация об определенном вопросе в зависимости от запроса руководства
12.	ВОС	Водоочистные сооружения
13.	КОС	Канализационно-очистные сооружения
14.	Указ 204 / Нацпроекты	Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»
15.	ТЗ	Техническое задание
16.	ПЗ	Пояснительная записка


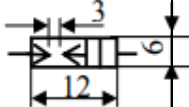


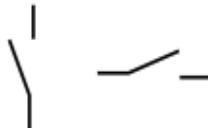
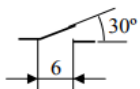
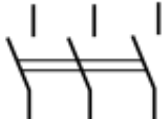
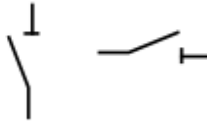
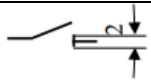

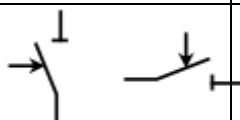
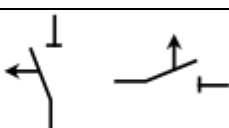
17.	НПА	Нормативно-правовой акт
18.	ГИП	Главный инженер проекта
19.	ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
20.	ЗУ	Земельный участок
21.	ДЖКХ	Департамент ЖКХ и энергетики
22.	ПО	Программное обеспечение
23.	КИУМ	Коэффициент использования установленной мощности
24.	УМП	Учебно-методическое пособие
25.	ТЭО	Технико-экономическое обоснование
26.	БП	Бизнес-план
27.	ПС	Подстанция
28.	ЭС	Электроснабжение
29.	ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
30.	АРМ	Автоматизированные рабочие места
31.	ПК	Персональный компьютер
32.	ЛЭП	Линия электропередачи
33.	СН	Собственные нужды
34.	ВН	Высокое напряжение
35.	НН	Низкое напряжение
36.	ТЭР	Технико-экономический расчет
37.	ИЭИ	Инженерно-экологические изыскания
38.	ИГМИ	Инженерно-гидрометеорологические изыскания
39.	ИГИ	Инженерно-геодезические изыскания
40.	НИР	Научно-исследовательская работа
41.	САПР	Система автоматизированного проектирования
42.	ЗРУ	Закрытая распределительная установка

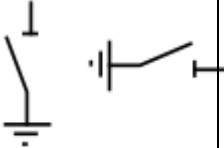

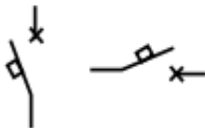
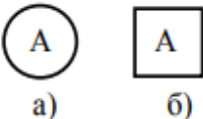
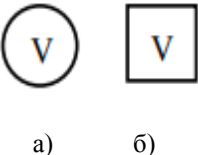
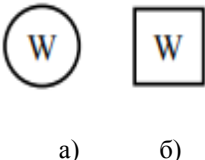
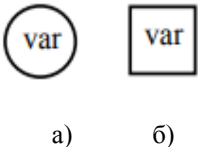
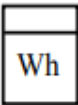
43.	ОРУ	Открытая распределительная установка
44.	РУ	Распределительная установка
45.	ГПП	Главная понизительная подстанция
46.	СМР	Строительно-монтажные работы
47.	ТУ	Технические условия
48.	НТД	Нормативно-техническая документация
49.	ПД	Проектная документация
50.	ПОС	Проект организации строительства
51.	ППР	Проект производства работ
52.	СДТУ	Средства диспетчерского и технологического управления
53.	ДЭС	Дизельная электростанция
54.	ДГУ	Дизель-генераторная установка
55.	э/э	Электрическая энергия
56.	о.е.	Относительные единицы
57.	ПКА	Понятийно-категориальный аппарат
58.	Рекреация	Комплекс оздоровительных мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормального самочувствия и работоспособности здорового, но утомленного человека
59.	ВЭС	Ветровая электростанция
60.	КИУМ	Коэффициент использования установленной мощности
61.	ВЭР	Ветровые энергетические ресурсы

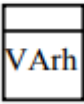





УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ





Наименование	Обозначение		Размеры в мм
	Графическое	Буквенное	
Двухобмоточный силовой трансформатор		Т	Диаметр – 10, длина стрелки – 20, угол наклона – 45°
Автотрансформатор		АТ	-
Трехобмоточный силовой трансформатор		Т	-
Силовой трехфазный двухобмоточный с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН)		Т	-
Трансформатор тока		ТА	Диаметр окружности – 10, радиус дуг – 2,5.
Трансформатор напряжения		ТВ	Диаметр окружности – 10, расстояние между центрами

			окружностей – 6
Кабельная линия		КЛ	-
Токоограничивающий реактор		LR	Диаметр – 12 мм
Сдвоенный реактор		LR	-
Батарея конденсаторная силовая		CB	
Генератор		Г (G)	Диаметр окружности – 10. Для основных элементов схемы размеры увеличивать в 2 раза.
Синхронный компенсатор		GS	-
Электродвигатель		M	-
Ограничитель перенапряжения		ОПН (FV)	

Разрядник вентильный		FV	
Разрядник трубчатый		FV	-
Плавкий предохранитель		FU	-
Рубильник		QS или SA	
Рубильник, выключатель низковольтный трехполюсный		-	-
Разъединитель		QS	
Выключатель нагрузки		QW	-
Короткозамыка- тель		QN	-
Отделитель одностороннего действия		QR	

Заземляющий нож		QSG	
Заземление		-	-
Автоматический выключатель		QF	-
Амперметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PA	Диаметр – 10; квадрат 10×10
Вольтметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PV	Диаметр – 10; квадрат 10×10
Ваттметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PW	-
Варметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PVA	-
Счетчик активной энергии		PI	-

Счетчик реактивной энергии		РК	-
Линия проводки		Л	-
Ветровая энергетическая установка		ВЭУ	-
ВЭУ отключен / отсоединен		-	-
Стоп! ВЭУ!		-	-
Вход воспрещен! Частная область размещения ВЭУ!		-	-

Осторожно! Вход воспрещен! Частная область размещения ВЭУ!		-	-
Осторожно! Не вынимайте поверхность гондолы ВЭУ, когда лопасти ВЭУ направлены вниз!		-	-
Здесь нет ВЭУ		-	-
Ветровая энергия		-	-

ПОНЯТИЙНО-КАТЕГОРИАЛЬНЫЙ АППАРАТ В ОБЛАСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Ветроэнергетика (Wind power) – отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию.

Ветровой кадастр (Wind cadaster) – систематизированный свод сведений, характеризующий ветровые условия местности, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений и дающий возможность количественной оценки энергии ветра и расчета ожидаемой выработки ветроэнергетическими установками.

Ветровой потенциал (Wind potency) – полная энергия ветрового потока какой-либо местности на определенной высоте над поверхностью земли.

Ветровой валовый потенциал (Wind potency total) – энергетический эквивалент ветрового потока какой-либо местности на определенной высоте над поверхностью земли.

Ветровой технический потенциал (Wind potency technical) – часть валового потенциала, которая может быть полезно использована с помощью современного ветроэнергетического оборудования с учетом требований социально-экологического характера.

Ветровой экономический потенциал (Wind potency economic) – часть технического потенциала, использование которого экономически эффективно в современных условиях с учетом требований социально-экономического характера.

Ветроэнергетическая установка (Wind power installation) – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (механическую, тепловую, электрическую и др.).

Ветромеханическая установка (Wind mechanical plant) – ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в механическую для привода различных машин (насос, компрессор и т.д.).

Ветротепловая установка (Wind thermal plant) – ВЭУ, предназначенная для непосредственного преобразования ветровой энергии в тепловую.

Ветроэлектрическая установка (Wind electrical plant) – ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в электрическую с помощью системы генерирования электроэнергии.

Гибридные ВЭУ (Combine wind systems) – системы, состоящие из ВЭУ и какого-либо другого источника энергии (дизельного, бензинового, газотурбинного двигателей, фотоэлектрических,

солнечных коллекторов, установок емкостного, водородного аккумулирования сжатого воздуха и т. п.), используемых в качестве резервного или дополнительного источника электроснабжения потребителей.

Ветроэлектрическая станция (*Wind electrical power station*) – электростанция, состоящая из двух и более ветроэлектрических установок, предназначенная для преобразования энергии ветра в электрическую энергию и передачу ее потребителю.

Ветроагрегат (*Wind unit*) – система, состоящая из ветродвигателя, системы передачи мощности и приводимой ими в движение машины (электромашинного генератора, насоса, компрессора и т. п.).

Сетевой ветроэлектрический агрегат (*Wind unit for grid electric*) – ВА с электромашинным генератором, предназначенный для работы параллельно с электрическими сетями, мощность которых является бесконечно большой или большей, но соизмеримой по сравнению с мощностью ВА.

Автономный ветроэлектрический агрегат (*Wind unit autonomic*) – ВА с электромашинным генератором, предназначенный для электроснабжения потребителей, не имеющих связи с электрической сетью.

Ветродвигатель (*Wind motor*) – устройство для преобразования ветровой энергии в механическую энергию вращения ветроколеса.

Система передачи мощности (*Transmission power system*) – комплекс устройств для передачи мощности от вала ветроколеса к валу соответствующей машины ветроагрегата с повышением или без повышения частоты вращения вала этой машины.

Система генерирования электроэнергии (*Generator system*) – электромашинный генератор и комплекс устройств (преобразователь, аккумулятор и т. д.) для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии.

Энергетическая характеристика ВА (*Wind power curve*) – размерная зависимость выходной мощности ВА от скорости ветра незаторможенного потока.

Рабочие характеристики ВА (*Performance curve*) – размерные характеристики зависимости момента вращения и мощности от частоты вращения для ряда постоянных скоростей ветра.

Производительность ВА (*Capacity*) – зависимость объема продукции, производимого ВА за единицу времени, от средней скорости ветра.

Установленная мощность ВА (*Maximum electrical output*) – паспортная мощность машины на выходном валу ВА.

Номинальная мощность ВА (Rated electrical output) – максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитан ВА в длительном режиме работы.

Общий коэффициент полезного действия ВА (Efficiency total) – отношение производимой ВА полезной энергии к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса.

Скорость страгивания с места (Start-up speed) – минимальная скорость ветра, при которой ветроколесо начинает вращение без нагрузки.

Минимальная рабочая скорость ветра (Cut-in-wind speed) – минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход).

Расчетная скорость ветра (Rated wind speed) – минимальная скорость ветра, при которой ВА развивает номинальную мощность; скорость, соответствующая началу регулирования.

Максимальная рабочая скорость ветра (Gut-out-wind speed) – скорость ветра, при которой расчетная прочность ВА позволяет производить электроэнергию без повреждений.

Буревая расчетная скорость ветра (Maximum design wind speed) – максимальная скорость ветра, которую может выдержать остановленный ВА без разрушений.

Число часов (коэффициент) использования номинальной мощности (Efficiency rated output) – отношение производительности ВА за расчетный период времени к номинальной мощности ВА.

Ветродвижитель, его составные части и характеристики:

горизонтально-осевой ВД (Horizontal axial wind motor) – ВД, у которого ось вращения ветроколеса расположена параллельно или почти параллельно вектору скорости ветра.

вертикально-осевой ВД (Vertical axial wind motor) – ВД, у которого ось вращения расположена перпендикулярно вектору скорости ветра.

ветроколесо (ВК) (Wind rotor) – лопастная система ветродвижателя, воспринимающая аэродинамические нагрузки от ветрового потока и преобразующая энергию ветра в механическую энергию вращения ветроколеса.

диаметр ВК (Rotor diameter) – диаметр окружности, описываемый наиболее удаленными от оси вращения ВК частями лопастей.

ометаемая площадь ВК (Swept area) – геометрическая проекция

площади ВК на плоскость, перпендикулярную вектору скорости ветра.
лопасть ВК (*Blade*) – составная часть ВК, создающая вращающий момент.

крутка лопасти (*Blade twist*) – изменение угла установки хорды лопасти по ее длине от корневого до периферийного сечения.

угол установки лопасти (*Pitch angle of the blade*) – угол между хордой профиля лопасти и плоскостью или поверхностью вращения ВК.

втулка ВК (*Hub*) – элемент ВК, предназначенный для крепления лопастей и передачи момента вращения к СПМ ветроагрегата.

угол конуса ВК (*Cone angle*) – угол, на который отклонены лопасти ВК от плоскости, перпендикулярной его оси вращения.

угол установки оси ВК (*Tilt angle*) – отклонение угла установки оси ВК от горизонтали.

частота вращения ВК (*Rotation speed*) – угол, проходимый лопастью ВК за единицу времени, измеренный в оборотах в единицу времени или в радианах.

аэродинамический тормоз ВД (*Air brake*) – тормоз, действие которого основано на использовании аэродинамических сил, воздействующих на поворотные лопасти или ее поворотные части.

механический тормоз ВД (*Mechanical brake*) – механическая тормозная система, использующая силы трения для снижения частоты вращения или остановки ротора ВД.

главный тормоз ВД (*Head brake*) – тормоз, который обеспечивает остановку агрегата при отсутствии аварии или поддержание номинальной частоты вращения ВК при отключении ВА от потребителя (противоразгонный режим).

аварийный тормоз ВД (*Emergency brake*) – тормоз, который обеспечивает полную безаварийную остановку ВА при его отключении от потребителя и отказе главного тормоза.

головка (гондола) ВД (*Nacelle*) – составная часть ВА с горизонтально-осевым ВД, в котором размещены элементы опор ВК, СПМ, СГЭЭ, система ориентации ВК на направление ветра и другие элементы ВД.

система ориентации ВД (*Yaw system*) – комплекс устройств горизонтально-осевого ВД, предназначенный для установки оси вращения ВК в соответствии с направлением ветра в определенных пределах в каждый момент времени.

система регулирования ВД (*Power regulation system*) – комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах частоты вращения и нагрузки ВД при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне.

Характеристики ВД:

аэродинамические характеристики ВД (*Air dynamic characteristics*) – безразмерные зависимости момента вращения, развиваемой мощности (коэффициента использования энергии ветра) и силы лобового давления на ВК от частоты его вращения и скорости ветра (быстроходности ВК).

регулирующие характеристики ВД (*Characteristics regulation*) – размерная зависимость частоты вращения ВК от средней скорости ветра при холостом ходе и номинальной нагрузке ВА.

коэффициент использования энергии ветра (*Output coefficient*) – отношение величины механической энергии, развиваемой ВК, и полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса.

полная энергия ветрового потока (*Wind energy total*) – энергия ветрового потока, проходящего через ометаемую площадь ВК, отнесенная к незаторможенному потоку перед ВК.

быстроходность (число модулей) ВК (*High-speed running factor*) – отношение окружной скорости конца лопасти к скорости ветра.

номинальное число модулей (*Nominal high-speed running factor*) – число модулей, соответствующее максимальному значению коэффициента использования энергии ветра.

синхронное число модулей (*Synchronous high-speed running factor*) – число модулей, при котором относительный момент (коэффициент использования энергии ветра) равен нулю.

аэродинамическая нагрузка ВК (*Aerodynamical load*) – составляющая аэродинамических сил, действующих на ВК в направлении ветра.

момент вращения ВК (*Moment of the wind wheel*) – момент вращения, образующийся в результате возникновения подъемной силы на профилях лопастей ВК при их взаимодействии с ветровым потоком.

момент трогания с места (*Starting moment of the wind wheel*) – минимальный момент вращения на ВК, достаточный для преодоления инерции покоя ВД.

номинальный момент ВК (*Nominal moment of the wind wheel*) – момент вращения ВК, соответствующий максимальному значению коэффициента использования энергии ветра.

сила лобового давления на ВК – суммарная аэродинамическая нагрузка на поверхность лопастей ВК, образующаяся в результате лобового сопротивления профиля лопасти ветровому потоку.

ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

Применение энергии ветра является одним из главных направлений развития ВИЭ. Известно, что энергия ветра в жизнедеятельности человека применялась в виде парусных судов для мореплавания, ветряных мельниц для переработки зерновых культур в области АПК и т.д.

В данной главе учебного пособия представлена информация об основных направлениях использования энергии ветра с представлением перечня общих схем с описаниями и графическими интерпретациями.

1.1. Энергия ветра. Происхождение. Этапы развития

Энергия ветра является одной из форм Солнечной энергии. Вследствие неравномерности состава грунта, рельефа земной поверхности, а также толщины атмосферного слоя Солнце нагревает поверхность Земли с различной интенсивностью. Нагретая Солнцем поверхность передает тепловую энергию воздушным массам, расположенным над земной поверхностью. Поскольку плотность воздуха зависит от его температуры, образуются зоны с разными атмосферными давлениями, так как масса теплого воздуха легче, чем масса холодного воздуха. В таблице 1.1 представлены показатели плотности воздуха в зависимости от температуры среды.

По мере того как теплый воздух поднимается практически вертикально от земной поверхности, более холодный воздух перемещается вдоль Земли (горизонтально), чтобы заполнить образовавшуюся пустоту.

Таким образом, «Ветер» - это процесс выравнивания давления путем перемещения воздушных масс из области высокого давления в область низкого давления, создаваемый вследствие неравномерного прогрева земной поверхности.

На рис. 1.1 представлена общая система образования ветровых потоков (ветра).

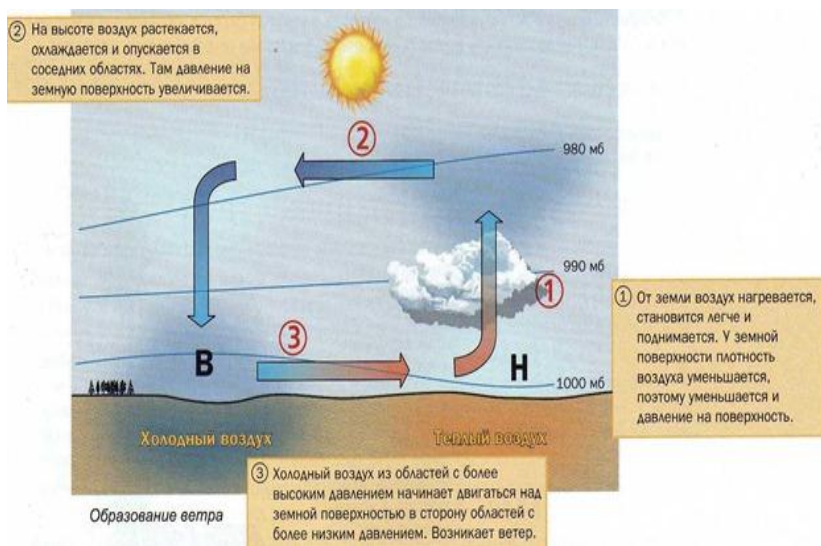


Рисунок 1.1 – Общая система образования ветровых потоков (ветра)

На вышеуказанном рисунке видно, что вследствие воздействия солнечного излучения производится передача тепловой энергии на земную поверхность, тем самым, воздушные массы у нагретой поверхности земли прогреваются и перпендикулярно поднимаются, имея легкую массу, чем холодный воздух (См. Табл. 1.1). На определенной высоте теплый воздух растекается, охлаждается и опускается на соседние области. В данной области давление на земную поверхность увеличивается. Затем холодный воздух из областей с более высоким давлением начинает двигаться над земной поверхностью в сторону областей с более низким давлением, тем самым, возникает явление «Ветра».

Таблица 1.1 – Таблица плотности воздуха в зависимости от температуры среды

№	t, °C	ρ , кг/м ³	t, °C	ρ , кг/м ³	t, °C	ρ , кг/м ³	t, °C	ρ , кг/м ³
1.	-50	1,584	20	1,205	150	0,835	600	0,404
2.	-45	1,549	30	1,165	160	0,815	650	0,383
3.	-40	1,515	40	1,128	170	0,797	700	0,362
4.	-35	1,484	50	1,093	180	0,779	750	0,346
5.	-30	1,453	60	1,06	190	0,763	800	0,329
6.	-25	1,424	70	1,029	200	0,746	850	0,315
7.	-20	1,395	80	1	250	0,674	900	0,301
8.	-15	1,369	90	0,972	300	0,615	950	0,289
9.	-10	1,342	100	0,946	350	0,566	1000	0,277
10.	-5	1,318	110	0,922	400	0,524	1050	0,267
11.	0	1,293	120	0,898	450	0,49	1100	0,257
12.	10	1,247	130	0,876	500	0,456	1150	0,248
13.	15	1,226	140	0,854	550	0,43	1200	0,239

Энергия ветра может быть преобразована в нескольких видов энергии, такие как:

- Кинетическая энергия. Данный вид энергии приводит в движение парусные корабли, обеспечивает полет воздушного змея или воздушного шара.

- Механическая энергия. Данный вид энергии приводит в движение ветровые мельницы для производства мукомольной продукции или водные насосы.

- Электрическая энергия. Данный вид энергии приводит в движение ветровые энергетические установки, которые генерируют электроэнергию.

1.2. Преобразование энергии ветра в кинетическую энергию

Известно, что энергия ветра может быть преобразована в кинетическую энергию для приведения в движение парусные корабли (парусники) или обеспечивает полет воздушного змея.

Парусники с прямыми парусами привезли европейцев в Америку. Их устойчивые палубы и вместительные трюмы доставили людей и припасы для строительства Нового мира. Но и у этих старинных кораблей были свои ограничения, где на рисунке 1.2 представлены их внешние виды.



Рисунок 1.2 – Внешние виды парусных кораблей

Вышеуказанные парусные корабли плыли медленно и практически в одном направлении по ветру. С тех пор многое изменилось. Сегодня парусники используют совсем другие принципы управления силой ветра и волн.

Многие даже не догадываются, что парус – это крыло, и принцип работы крыла и паруса один. В его основе лежит подъемная сила, только если подъемная сила крыла летательного аппарата, используя

встречный ветер, толкает самолет вверх, то вертикально расположенный парус направляет парусник вперед. Чтобы объяснить это с научной точки зрения необходимо вернуться к истокам - как работает парус.

На рис. 1.3 представлен смоделированный процесс функционирования плоскости паруса.

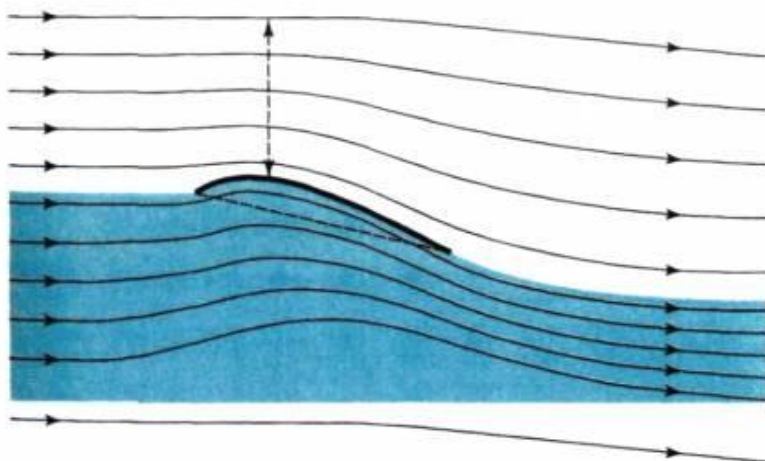


Рисунок 1.3 – Смоделированный процесс функционирования плоскости паруса

Вышеуказанный смоделированный процесс показывает, как воздух действует на плоскость паруса. Здесь можно видеть, что потоки воздуха под моделью, имеющие больший изгиб, изгибаются, чтобы обойти ее. При этом потоку приходится немного ускориться. В результате возникает область низкого давления - это и генерирует подъемную силу. Низкое давление на нижней стороне тянет парус к низу. Другими словами, область с высоким давлением пытается передвинуться к области низкого давления, оказывая давления на парус. Возникает разница давлений, что порождает подъемную силу. Благодаря форме паруса, с внутренней наветренной стороны, скорость ветра меньше, чем с подветренной стороны. На внешней стороне образуется разрежение. В парус в буквальном смысле всасывается воздух, который и толкает парусную яхту вперед.

Парусник движется за счет баланса сил. Паруса действуют как крылья. Большая часть производимой ими подъемной силы направлено в сторону, и лишь небольшое количество вперед. Впрочем, секрет в

этом чудесном явлении в так называемом «невидимом» парусе, который находится под днищем яхты. Это киль или на морском языке - шверт. Подъемная сила шверта также производит подъемную силу, которая тоже направлена в основном в бок. Киль противостоит крену и противоположной силе, действующей на парус.

На рис. 1.4 представлены внешние виды современных типов парусников.



Рисунок 1.4 – Внешние виды современных типов парусников

Вначале змеи запускали для забавы, увеселений. В странах Востока устраивались битвы воздушных змеев. В небо запускали двух змеев, предварительно смазав клеем и посыпав толченым стеклом бечевки, удерживающие их на привязи. Победителем считался тот, кому первому удавалось перепилить бечевку противника.

На рис. 1.5 представлены внешние виды воздушных змеев.



Рисунок 1.5 – Внешние виды воздушных змеев

Позднее воздушные змеи стали использовать и для научных целей. В своих опытах по изучению атмосферного электричества

американский физик Бенджамин Франклин использовал очень большие воздушные змеи. Подъемная сила некоторых из них была настолько велика, что ученому с трудом удавалось удерживать их на привязи. Воздушные змеи помогли Франклину доказать электрическое происхождение молнии, установить наличие двух зарядов положительного и отрицательного - и проверить идею молниеотвода,

В конце прошлого века и начале нынешнего змеи широко применялись и для метеорологических исследований. С их помощью ученые поднимали приборы на высоту более 1 000 м и измеряли скорость ветра, температуру и влажность воздуха, атмосферное давление.

Так почему же взлетает воздушный змей? Ответить на этот вопрос нам поможет упрощенный чертеж (рис. 1.6). Пусть линия АВ изображает разрез плоского змея. Предположим, что наш воображаемый змей взлетает справа налево под углом α к горизонту или набегающему потоку ветра. Рассмотрим, какие силы действуют на модель в полете.

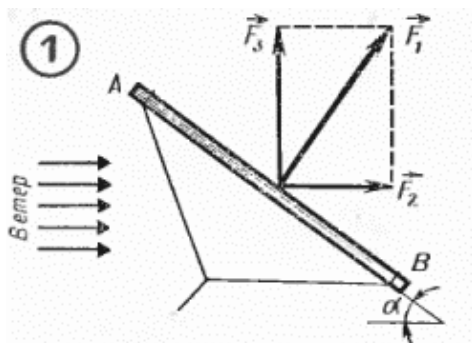


Рисунок 1.6 – Координатные оси действующих сил на примере воздушного змея

На взлете плотная масса воздуха препятствует движению змея, другими словами, оказывает на него некоторое давление. Обозначим это давление F_1 . Теперь построим так называемый параллелограмм сил и разложим силу F_1 на две составляющие - F_2 и F_3 . Сила F_2 толкает змей от нас, а это значит, что при подъеме она снижает его первоначальную горизонтальную скорость. Следовательно, это сила сопротивления. Другая же сила (F_3) увлекает змея вверх, поэтому назовем ее подъемной. Итак, мы определили, что на воздушного змея действуют две силы: сила сопротивления F_2 и подъемная сила F_3 .

Поднимая модель в воздух (буксируя ее за леер), мы как бы искусственно увеличиваем силу давления на поверхность змея, то есть силу F_1 . И чем быстрее мы разбегаемся, тем больше увеличивается эта сила. Но сила F_1 , как вы уже знаете, раскладывается на две составляющие: F_2 и F_3 . Вес модели постоянный, а действию силы F_2 препятствует леер. Значит, увеличивается подъемная сила - змей взлетает.

1.3. Преобразование энергии ветра в механическую энергию

Известно, что энергия ветра может быть преобразована в механическую энергию для приведения в движение ветряные мельницы для производства мукомольной продукции и насосы для перекачки водных ресурсов.

Человек научился использовать энергию ветра более тысячи лет назад. И речь сейчас идет не о парусных судах, а о ветряных мельницах. Ученые сходятся во мнении, что первые из этих машин появились в Персии где-то между 500 и 900 годами нашей эры. Они служили человеку заменой ручного труда, и в основном перемалывали для него злаки в муку. Это работало так: ветер вращал лопасти ветряной мельницы, которые раскручивали центральный вал, передававший вращение непосредственно на зерновую мельницу, состоящую, как правило, из больших плоских камней, которые перетирали зерно в муку.

На рис. 1.7 представлены внешние виды ветряной мельницы.



Рисунок 1.7 – Внешние виды ветряной мельницы

Помимо этого, ветряные мельницы занимались и другим крайне важным делом – перекачивали водные ресурсы для питания поселений и домов. В данном случае энергию ветра использовали для работы насоса.

На рис. 1.8 представлены составные части ветряной мельницы.

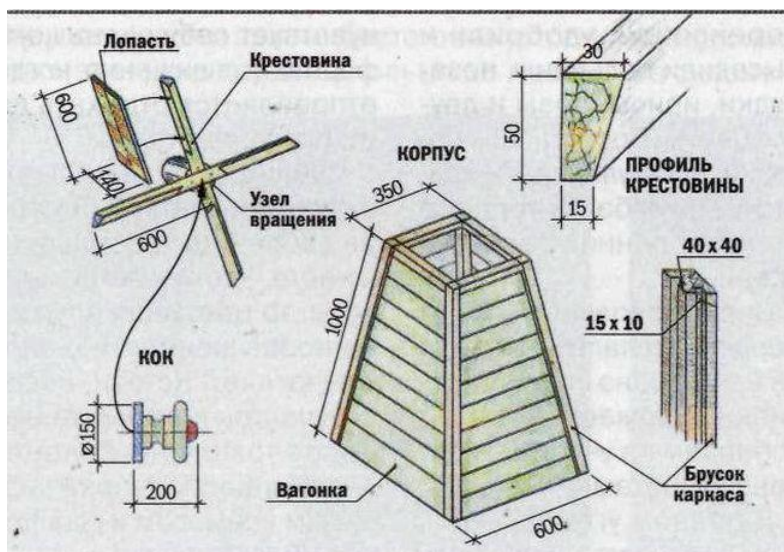


Рисунок 1.8 – Составные части ветряной мельницы

На вышеуказанном рисунке видно, что ветряная мельница состоит из: лопастей в количестве 3-4 ед.; крестовина; узел вращения; кок; башня; корпус; профиль крестовины и др.

Несмотря на то, что исторические враги Дона Кихота были изобретены давно, пик их популярности пришелся на середину XIX века. После 1850 года только в США было построено более 6 000 000 ветряных мельниц для различных целей. Простота конструкции сделала их идеальной технологией добычи бесплатной энергии, которую можно подавать на приводы машин и простых штанговых насосов.

1.4. Преобразование энергии ветра в электрическую энергию

В 1888 году ветряные мельницы эволюционировали в соответствии с достижениями прогресса, и стали превращать механическую энергию в электрическую энергию. Первую ветровую энергетическую установку (ветровой генератор) спроектировал и построил американский изобретатель и инженер – Чарльз Браш, чтобы вырабатывать электричество для своего особняка в Огайо.

Ветровые энергетические установки (См. ПКА) – используют аэродинамическую энергию ветра для получения механической энергии, которая преобразуется в генераторах в электрическую энергию и подается в электросеть.

Производство электроэнергии с помощью ветровых

энергетических установок (далее – ВЭУ) широко распространено в Европе. Многие ландшафты характеризуются наличием ВЭУ высотой до 140 м. На рис. 1.9 представлена общая схема и внешний вид ВЭУ.

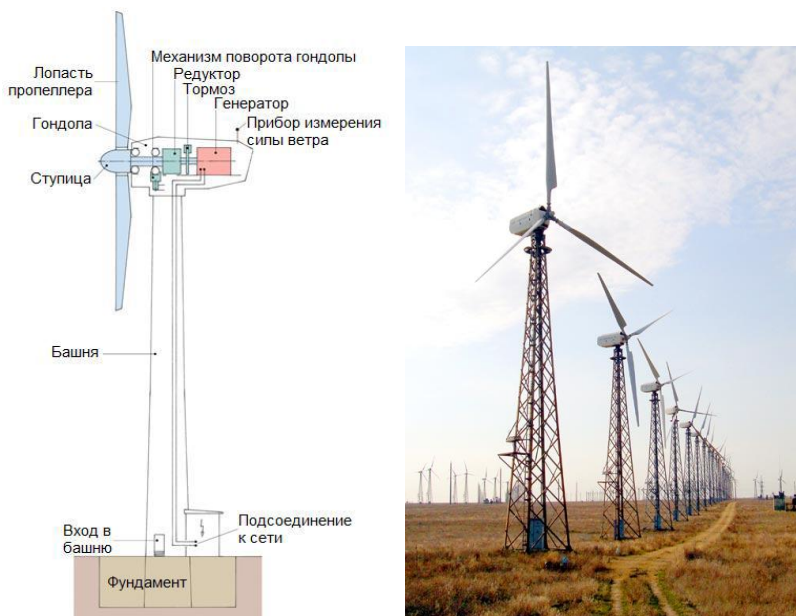


Рисунок 1.9 – Общая схема и внешний вид ВЭУ

Высота башни небольших ВЭУ составляет от 40 до 70 м при номинальной мощности до 600 кВт. Крупные ВЭУ, монтируемые в прибрежной зоне, имеют высоту от 120 до 140 м, их номинальная мощность составляет 5 МВт.

Проблема при производстве энергии с использованием ВЭУ заключается в нестабильности энергии ветра. В случае затишья или недостаточной силы ветра нехватка энергии должна компенсироваться обычной электростанцией. Необходимость использования резервных электростанций, которые должны включаться и выключаться по требованию, является фактором удорожания энергии. Несмотря на данную проблему, ветровая энергия имеет самый большой потенциал роста по сравнению с другими видами ВИЭ.

Для производства электроэнергии с помощью ВЭУ используются два рабочих режима:

- автономная работа без внешних электрических сетей.
- сетевая работа со внешними электрическими сетями.

При автономной работе ВЭУ подключение к общей сети электроснабжения отсутствует. Режим автономной работы применяется для электропитания объектов рекреации, стационарных потребителей, расположенные в удаленной местности, и индивидуальные хозяйства, находящиеся в малонаселенных районах недалеко от побережья. Соблюдение постоянного напряжения или определенной частоты зависит от типа подключенных электрических приборов.

Для полноценного электроснабжения к ВЭУ должен быть подключен дополнительный генераторный агрегат. Непродолжительные перерывы в работе ВЭУ могут покрываться аккумуляторными батареями (например, свинцово-кислотными аккумуляторными батареями).

При сетевой работе ВЭУ подключаются к внешним сетям электроснабжения. Поскольку в данном случае требуются регулирующие и предохранительные устройства, данный режим работы связан с довольно высоким уровнем инвестиций, которые окупаются только при эксплуатации установок средней и более высокой мощности.

На рис. 1.10 представлены внешние виды автономной и сетевой работы ВЭУ.

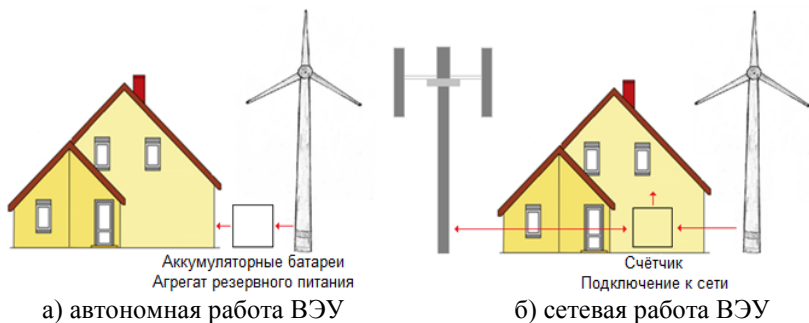


Рисунок 1.10 – Внешние виды автономной и сетевой работы ВЭУ

1.5. Рекомендуемые видеоматериалы

- Энергия ветра. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=atr7KMBfghU>.
- Как устроена ветряная мельница? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=lpYFTbleHd8>.

- Суперсооружения: Ветер (National Geographic). [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=QFbNCZWeoug>.
- Галилео. Воздушный змей. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=diRSiLWZ-Hs>.
- Строение корабля. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=pR9tG-zLtiQ>.
- Ветроэнергетика. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=rJajqfy3XU>.

1.6 Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите о происхождении ветровой энергии.
2. На какие виды энергии можно преобразовать энергию ветра?
3. Приведите пример о преобразовании энергии ветра на механическую энергию.
4. Вследствие чего воздушные потоки приводятся в движение?
5. Из чего состоит ветряная мельница?
6. Кто и как разработал ветровой генератор?
7. Что такое ветровая энергетическая установка и из чего она состоит?
8. Перечислите способы применения ветровой энергетической установки.
9. Где рекомендуется строить ветровые энергетические установки?
10. Расскажите принципы работы / полета воздушного змея.

ГЛАВА 2. ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В ходе изучения истоков энергии ветра определено, что данный вид энергии является следствием воздействия солнечной энергии на поверхность Земли, где из-за нагревания воздушных потоков и изменения давления окружающей среды создаются воздушные потоки различных скоростей. Указано, что энергия ветра применяется для преобразования на различные виды энергии в том числе на электрическую посредством применения ветровых энергетических установок (ВЭУ).

В данной главе представлена информация об основах функционирования ветровых электростанций с приведением определенного перечня электротехнических закономерностей, графических интерпретаций и схем.

2.1. Что такое ветровая электростанция?

Ветровая электростанция – это комплекс ветровых энергетических установок (ВЭУ), предназначенных для преобразования энергии движения воздушных потоков в механическую работу генератора по выработке электрического тока.

Ветровая электростанция может включать в себя любое количество ветроэнергетических установок (ВЭУ). Самые крупные системы ветровой энергетики насчитывают сотни единиц ВЭУ.

Принцип работы каждого ВЭУ заключается в использовании кинетической энергии ветра для вращения подвижной части ВЭУ, соединенной с ротором генератора энергии. Находящийся внутри редуктор увеличивает скорость движения вала. Вследствие этой работы создается трехфазный переменный ток.

Для преобразования переменного тока в постоянный в конструкции предусмотрен контроллер. Постоянный ток заряжает аккумуляторные батареи, передающие ток на инвертор.

В инверторе постоянный ток снова преобразуется в переменный, но уже пригодный для использования в электроприборах. Его напряжение становится 220 В, а частота – 50 Гц.

На рис. 2.1 представлена общая схема функционирования ветровой электростанции.

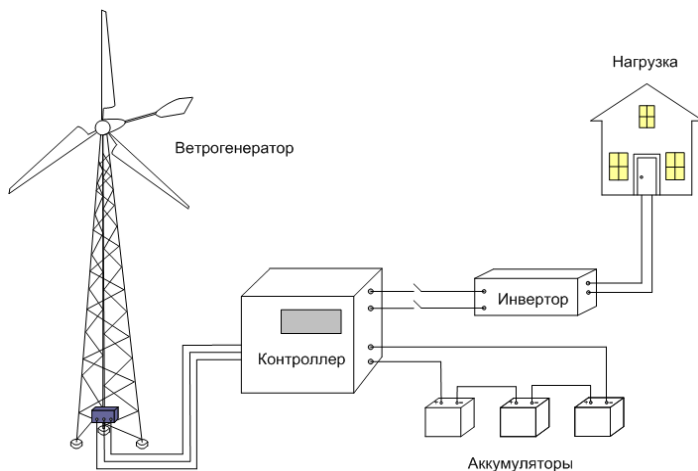


Рисунок 2.1 – Общая схема ветровой электростанции

Функционирование ветровой электростанции имеет следующий порядок: за счет активного движения воздушных потоков приводится в движение ВЭУ (ветрогенератор), где вырабатывается электрическая энергия. Затем выработанная электроэнергия направляется для сохранения в систему накопления энергии, состоящая из секций аккумуляторных батарей или напрямую к потребителю через контроллер заряда. Данное оборудование регулирует направление электроэнергии в зависимости от спроса потребителя или системы накопления энергии.

2.2. Преимущества и недостатки ветровых электростанций

В настоящий момент при эксплуатации ветровых электростанций идентифицирован определенный перечень их различных преимуществ и недостатков.

Преимущества ветровых электростанций:

- Чистый вид энергии: производство электроэнергии с помощью ВЭ не сопровождается выбросами CO_2 и каких-либо других газов.

- Эргономика: ветровые электростанции занимают мало места и легко вписываются в любой ландшафт, а также отлично сочетаются с другими видами хозяйственного использования территорий.

- Неисчерпаемость ресурсов: энергия ветра, в отличие от ископаемого топлива, неистощима.

- Техническая целесообразность для труднодоступных мест: для удаленных мест установка ветровых электрогенераторов может быть

лучшим и наиболее дешевым решением.

- Снижение углеродного следа в электроэнергетической системе и обеспечение климатической нейтральности¹.

Недостатки ветровых электростанций:

- Нестабильная генерация: нестабильность заключается в отсутствии гарантий для получения необходимого количества электроэнергии. На некоторых участках суши силы ветра может оказаться недостаточно для выработки необходимого количества электроэнергии.

- Низкая эффективность генерации: ВЭУ значительно уступают в выработке электроэнергии дизельным генераторам, что приводит к необходимости установки сразу нескольких турбин. Ветровые турбины неэффективны при пиковых нагрузках.

- Высокие капитальные затраты: удельная стоимость 1 кВт установленной мощности составляет от 150 000 рублей по ценам на 02.2022 г.

- Опасность для дикой природы: вращающиеся лопасти турбины представляют потенциальную опасность для некоторых видов живых организмов. Согласно статистике, лопасти каждой установленной турбины являются причиной гибели не менее 4 особей птиц в год.

- Шумовое загрязнение: шум, производимый “ветряками”, может причинять беспокойство, как диким животным, так и людям, проживающим поблизости.

- Электромагнитное загрязнение близлежащей области: возможны искажения в работе сетей связи и интернета вследствие влияния электромагнитного поля, издаваемого из ВЭУ.

- Необходимость в постоянном аккумулировании электроэнергии в системе накопления энергии.

На рис. 2.2 представлен слайд, поясняющий о преимуществах и недостатках ветровых электростанций (далее – ВЭС).

¹ Троянский, М. Г. Климатическая повестка в преддверии COP-26: опыт Латинской Америки / М. Г. Троянский, О. Г. Карпович, А. В. Давыдова // Дипломатическая служба. – 2021. – № 6. – С. 544-559. – DOI 10.33920/vne-01-2106-03.

Достоинства	Недостатки	
Постоянно возобновляема	Низкая плотность энергии, приходящейся на единицу площади ветроколеса	
Доступность, повсеместность	Непредсказуемые изменения скорости ветра в течение суток и сезона	
Не требует транспортировки	Необходимость резервирования в.с. или аккумулирования произведенной энергии	
Отсутствие потребления кислорода	Отрицательное влияние на телевизионную связь	
Отсутствие выбросов углекислого газа и других загрязнителей	Испускание инфразвука, вызывающего низкочастотные колебания предметов	
Отсутствие влияния на тепловой баланс атмосферы Земли	Отрицательное влияние на среду обитания животных	

Рисунок 2.2 – Слайд о преимуществах и недостатках ВЭС

2.3. Типы ветровых электростанций

Производство и установка ветровых энергетических установок составляет до 84% от общей стоимости разработки ветровой электростанции. На строительство 50-мегаваттной электростанции, состоящей из ВЭУ с единичной установленной мощностью по 2 МВт, уходит примерно 23 000 тонн бетона, 6 тонн стали, 680 тонн полимерных материалов 370 тонн стеклопластика, 170 тонн алюминия и его сплавов, а также другие материалы. Строительство, наладка и подключение к сети составляет 1-1,5 лет.²

В настоящий момент ветровые электростанции активно эксплуатируются по всему миру с разделением на различные типы, такие как:

1. Наземные ВЭС.
2. Прибрежные ВЭС.
3. Шельфовые ВЭС.

² Наземная ветряная энергетика. [Электронный ресурс]: режим доступа: <http://renewnews.ru/info/technologies/onshore-wind/> (дата обращения: 21.02.2022)

4. Плавающие ВЭС.
5. Парящие ВЭС.
6. Горные ВЭС.

Далее представлены детальные описания вышеуказанных типов ветровых электростанций.

2.3.1. Наземная ветровая электростанция

Наземные ВЭС – это наиболее распространенный тип ветровых электростанций. ВЭУ устанавливаются на холмах или возвышенностях.

Промышленная ВЭУ строится на подготовленной площадке за 7—10 дней. Получение разрешений регулирующих органов на строительство ветровой электростанции может занимать год и более.

Для строительства необходима дорога до строительной площадки, тяжелая подъемная техника с выносом стрелы более 50 метров, так как гондолы устанавливаются на высоте около 50 метров. ВЭС соединяется кабелем к электроэнергетической системе.

Крупнейшей на данный момент ветровой электростанцией является электростанция Ганьсу, расположенная в провинции Ганьсу в городском округе Цзюцюань, КНР. Установленная мощность объекта составляет 7965 МВт.

На рис. 2.3 представлен внешний вид ВЭС в провинции Ганьсу.



Рисунок 2.3 – Внешний вид ВЭС в провинции Ганьсу, Китай

2.3.2. Прибрежная ветровая электростанция

На данный момент довольно распространенными являются морские ВЭУ, чье основание жестко крепится к морскому дну на небольшой глубине шельфовых зон морей, однако параллельно ведутся разработки в области строительства ветряных турбин на плавающем основании.

Первая ветряная электростанция водного типа *Vindeby* была построена в 1991 году неподалеку от побережья Дании совместными усилиями датской компании DONG (нынешнее название — *Ørsted*) и немецкой *Siemens*.

Производство энергии из источников прибрежной ветряной генерации увеличилось в пять раз в 2010-2015 гг. Этот сегмент особенно интенсивно развивается в Европе, в странах с обширным выходом к морю таких как Великобритания (где, по оценкам, сосредоточено до 30% всех ветряных ресурсов ЕС), Дания, Бельгия, Германия. Наиболее плотно здесь конкурируют производители ветрооборудования *Siemens Gamesa* и *MHI Vestas*.³

В 2018 году количество введенных новых мощностей прибрежной ветряной энергетики в мире составило 4,3 ГВт.

По состоянию на конец 2010-х годов установленная мощность прибрежных ветряных электростанций в Европе находится на уровне около 15 ГВт, а глобальный потенциал составляет более 100 ГВт к 2030 году. Из этого числа плавающие морские ветроэлектростанции составят 10% рынка.

Затраты на производство энергии оффшорными ветряными электростанциями снизятся на 77% к 2040 году.

На рис. 2.4 представлены внешние виды прибрежной ветровой электростанции.

³ Прибрежная (оффшорная) ветряная энергетика. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://clck.ru/bmikx> (режим доступа: 21.02.2022)

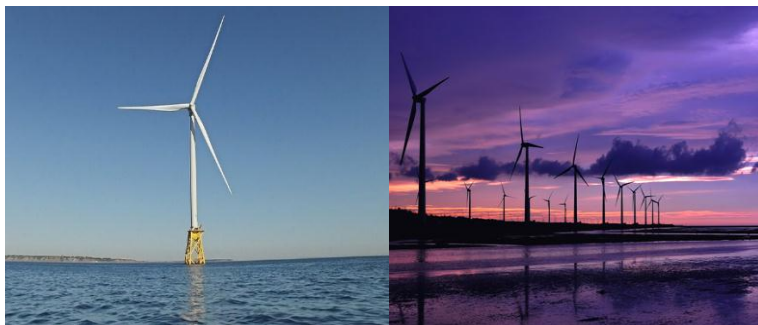


Рисунок 2.4 – Внешний вид прибрежной ветровой электростанции

Как правило, прибрежные ветровые электростанции строят на небольшом удалении от берега моря или океана. На побережье с суточной периодичностью дует бриз, что вызвано неравномерным нагреванием поверхности суши и водоема. Дневной, или морской бриз, движется с водной поверхности на сушу, а ночной, или береговой — с остывшего побережья к водоему.

2.3.3. Шельфовая ветровая электростанция

Шельфовые ветровые электростанции строят в море: 10—60 километров от берега. Шельфовые ветровые электростанции обладают рядом преимуществ, такие как:

1. Их практически не видно с берега.
2. Отсутствие необходимости в земельных участках для размещения ВЭУ.
3. Высокая эффективность вследствие воздействия постоянных морских ветров.

Шельфовые ВЭС строят на участках моря с небольшой глубиной. Башни ВЭУ устанавливают на фундаментах из свай, забитых на глубину до 30 метров. Электроэнергия передается в центр по подводным кабелям.

Шельфовые ВЭУ имеют гораздо высокие капитальные затраты, чем их наземные аналоги. Для генераторов требуются более высокие башни и более массивные фундамента. Соленая морская вода может приводить к коррозии металлических конструкций.

В целях строительства и обслуживания данного типа ветровых электростанций используются самоподъемные суда.

В конце 2008 года во всем мире суммарные мощности шельфовых электростанций составили 1471 МВт. За 2008 год во всем

мире было построено 357 МВт шельфовых мощностей. Крупнейшей шельфовой станцией в 2009 году являлась электростанция Миддельгрюнден (Дания) с установленной мощностью 40 МВт.

На рис. 2.5 представлены внешние виды шельфовых ВЭС.



Рисунок 2.5 – Внешние виды шельфовых ВЭС

2.3.4. Плавающая ветровая электростанция

Плавающие ВЭС – это перспективная, растущая отрасль мировой энергетическом рынке в области ветроэнергетики. В целях строительства данного вида электростанций не нужно изымать из оборота земельные участки, и при надлежащем планировании можно добиваться весьма высокого коэффициента использования установленной мощности — новые проекты в морской ветроэнергетике стабильно имеют КИУМ близкий к 45%.

Одно из ограничений развития офшорной ветроэнергетики связано с географией. Очевидно, что ветровые электростанции можно возводить на подходящем рельефе морского дна и при умеренных глубинах до 50 м.⁴

Норвежская компания *StatoilHydro* разработала плавающие ВЭУ для морских станций при большой глубине. *StatoilHydro* построила демонстрационную версию ВЭУ мощностью 2,3 МВт в сентябре 2009 года. ВЭУ под названием *Huwind* весит 5 300 тонн при высоте 65 метров. Располагается она в 10 километрах от острова Кармой, неподалеку от юго-западного берега Норвегии.

Стальная башня данного ВЭУ уходит под воду на глубину 100 метров. Над водой башня ВЭУ возвышается на 65 метров. Диаметр ротора составляет 82,4 м. В целях стабилизации башни ВЭУ и

⁴ Офшорная ветроэнергетика: плавающие фундаменты. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://renen.ru/ofshornaya-vetroenergetika-plavayushhie-fundamenty/> (дата обращения: 21.02.2022)

погружения его на заданную глубину в нижней его части размещен балласт (гравий и камни). При этом от дрейфа башню удерживают 3 троса с якорями, закрепленными на дне. Выработанная электроэнергия передается на берег по подводному кабелю.

На рис. 2.6 представлены внешние виды плавающих ВЭС.



Рисунок 2.6 – Внешние виды плавающих ВЭС

2.3.5. Парящая ветровая электростанция

Парящей называют ветровые турбины, размещенные высоко над землей, для использования более сильного и стойкого ветра. Концепция разработана в 1930-е годы в СССР инженером Егоровым.

Обычные ВЭУ, которые установлены на суше или в море на высокой мачте, являются, пожалуй, самыми узнаваемым видом устройств сбора ветровой энергии, а ветровые электростанции – жизнеспособным методом производства чистой возобновляемой энергии.

Altaeros Energies, ветроэнергетическая компания, созданная на базе Массачусетского технологического института, объявила, что ее демонстрационный проект, целью которого является побить мировой рекорд размещения на самой большой высоте ВЭУ, уже установлен в Аляске.

Находящийся на высоте 1 000 футов, пилотный проект промышленных масштабов будет располагаться на более чем 275 футов выше, чем нынешний рекордсмен самого высокого размещения ветряной турбины – *Vestas V164-8.0-MW*. *Vestas* недавно установил свой первый прототип в Датском национальном центре тестирования больших турбин (*Danish National Test Center for Large Wind Turbines*) в Остерильде, у которого высота расположения оси ветряной турбины равна 460 футов (140 метров), а лопасти простираются в высоту более 720 футов (220 метров).

Мощность турбины *Altaeros* составляет 30 кВт, она создает достаточно энергии для обеспечения 12 домов. Но, по словам компании, это только начало. Она также может поднять на себе коммуникационное оборудование, такое как сотовые радиопередатчики, метеорологические приборы или другую чувствительную аппаратуру. Компания уверяет, что дополнительное оборудование не влияет на производительность турбины.

Чтобы подняться на большую высоту к сильным и устойчивым ветрам, недостижимым для турбин наземной и морской установки, ВЭУ использует наполненную гелием невоспламеняемую надувную оболочку. Высокопрочные канаты обеспечивают турбине устойчивость и являются проводниками для выработанной энергии. Подъемная технология адаптирована для конкретного применения и аналогична применяемой в аэростатах, промышленных родственниках дирижаблей, несущих тяжелое коммуникационное оборудование в течение десятилетий. Они способны противостоять ураганам ветрам и оснащены технологиями, обеспечивающими плавную посадку в

большинстве непредвиденных и аварийных ситуаций.⁵

На рис. 2.7 представлены внешние виды парящей ВЭУ.



Рисунок 2.7 – Внешние виды парящей ВЭУ

2.3.6. Горная ветровая электростанция

Горные перевалы – идеальное место для ветровых электростанций. Горные перевалы направляют ветер, блокируемый горами, через туннель, похожий на перевал, в области более низкого давления и более плоской земли. Перевалы, используемые для ветряных электростанций, таких как перевал Сан-Горгонио и перевал Альтамонт, известны своими богатыми ветровыми ресурсами и возможностями для крупных ветровых электростанций. Эти типы перевалов были первыми местами в 1980-х годах, которые были вложены в крупномасштабные ветряные электростанции после одобрения разработки ветроэнергетики Бюро управления земельными ресурсами США. Из этих ветряных электростанций разработали много нового о эффектах турбулентности и тесноты крупномасштабных ветровых

⁵ Парящая ветряная турбина бьет мировой рекорд на Аляске. [Электронный ресурс]: режим доступа: <http://facepla.net/index.php/the-news/energy-news-mnu/4423-paryashchaya-vetryanaya-turbina> (дата обращения: 21.02.2022)

проектов, ранее не изученных в США из-за отсутствия ветряных электростанций, достаточно больших для проведения таких исследований.

Ветер дует быстрее на больших высотах из-за меньшего влияния сопротивления. Увеличение скорости с высотой наиболее заметно у поверхности и зависит от топографии, шероховатости поверхности и препятствий наветренной стороны, таких деревьев или здания. Однако на больших высотах сила ветра пропорционально уменьшению плотности воздуха. Снижение эффективности извлечения энергии ветровыми турбинами, что требует больших вложений для той же генерирующей мощности на меньших высотах.

Насколько близко расположить друг к другу, является основным фактором при проектировании ветровой электростанции. Чем ближе турбины вместе, тем сильнее против ветра блокируют ветер от своих задних соседей (эффект следа). Однако турбин на значительном расстоянии друг от друга увеличивает стоимость дорог и кабеля, увеличивая площадь земли, для установки турбин определенной мощности. В результате этих факторов между турбинами зависит от объекта. Вообще говоря, производители требуют, как минимум, 3.5 диаметра ротора турбины между турбинами. Более близкое расстояние возможно в зависимости от моделей турбины, условий на площадке и того, как она будет эксплуатироваться. Воздушные потоки замедляются по мере приближения к препятствию, что называется «эффектом блокировки», что снижает доступную ветровую энергию на 2% для турбин перед другими турбинами.

На рис. 2.8 представлены внешние виды горных ветровых электростанций.



Рисунок 2.8 – Внешние виды горных ВЭС

2.4 Рекомендуемые видеоматериалы

- Как работает ветряная электростанция? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=nGTxUyHXszI>.
- Как устанавливают большие ветрогенераторы? [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=hRd_B43AB_Q.
- Установка Ветряных Электростанций с Нуля. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=0vE6QkvcV-s>.
- Морской ветер обеспечит Европу энергией. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=1F_RGI1b9MY.
- Обслуживание ветряков - Из чего это сделано? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=SbAMM-Za8ZY>.
- Строительство ветровых электростанций NEG Micon NM. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=zhNt5KwoxDg>.

2.5 Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Что такое ветровая электростанция?
2. Из каких частей состоит ветровая электростанция?
3. Как функционирует общая схема ветровой электростанции?
4. Приведите перечень типов ветровых электростанций.
5. Как вид ветровой электростанции наиболее предпочтителен на территории северной части Якутии?
6. Как функционирует прибрежная ветровая электростанция?
7. В чем различия между шельфовой и плавающей ветровой электростанцией?
8. Расскажите порядок строительства ветровой электростанции.
9. Приведите пример эксплуатации прибрежной ветровой электростанции.
10. Почему ветровые электростанции устанавливают в горной местности?

ГЛАВА 3. ВЕТРОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

В ходе изучения видов ветровых электростанций определено, что данный вид электростанции эксплуатируется в различных исполнениях, а именно: наземные, прибрежные, плавучие и др.

Основной комплектующей ветровой электростанции является ветровая энергетическая установка (ВЭУ). Однако существуют различные виды ВЭУ с определенной линейкой мощностей.

В данной главе представлена информация о видах ветровых энергетических установок с приведением графических интерпретаций, схем и рисунков.

3.1. Классификация ВЭУ

Современные ВЭУ в зависимости от различных признаков и сочетаний получили широкое применение в том числе в зависимости от типа потребителя.

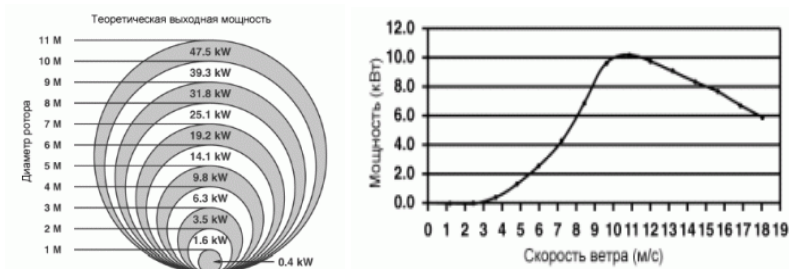
По своему исполнению ВЭУ делятся на:

- горизонтально-осевые и крыльчатые.
- вертикально-осевые или карусельные.
- циклонного типа.

Горизонтально-осевые установки отличаются в основном количеством лопастей (одно-, двух-, трех- и многолопастные); чем больше лопастей, тем и более плавный ход и меньше скорость вращения ВЭУ. Основной вращающей силой ВЭУ этого типа является подъемная сила лопастей.

Многолопастные ВЭУ развивают больший крутящий момент при слабом ветре, поэтому они, как правило, применяются как водоподъемные агрегаты.

Кроме того, установленная мощность ВЭУ возможно определить в зависимости от диаметра ротора в виде линейки мощностей, где на рис. 3.1а представлена номограмма выбора установленной мощности ВЭУ, а на рис. 3.1б – график зависимости мгновенной мощности ВЭУ от скорости ветра



а) Номограмма мощностей ВЭУ б) График мгновенной мощности ВЭУ

Рисунок 3.1 – Номограмма выбора установленной мощности ВЭУ и график мгновенной мощности ВЭУ

Известно, что мощность ВЭУ зависит от скорости ветра, где на вышеуказанном графике представлена данная зависимости. На графике видно, что в случае высокой скорости ветра от 11 до 12 м/с срабатывает защита ВЭУ, где поэтапно производится останов установки в целях недопущения аварийных ситуаций.

По областям применения и по назначению ВЭУ подразделяются на следующие группы:

- работающие автономно. В этом случае основной задачей ВЭУ является энергообеспечение небольшого стационарного потребителя или выполнение какой-либо механической работы.

- работающие параллельно с другими источниками энергии соизмеримой мощности. Задачи ВЭУ: помимо энергообеспечения потребителя, экономия ГСМ или аккумуляции энергии.

- работающие совместно с энергетической системой. Это в основном крупные ВЭУ или ВЭС, которые выдают в общую сеть максимально возможную энергию параллельно с устойчивым энергоснабжением основного потребителя.

К примеру, на рис. 3.2 представлена принципиальная схема гибридной электростанции при параллельном функционировании ветровой энергетической, фотоэлектрической и дизель-генераторной установки с указанием всех необходимых комплектующих.

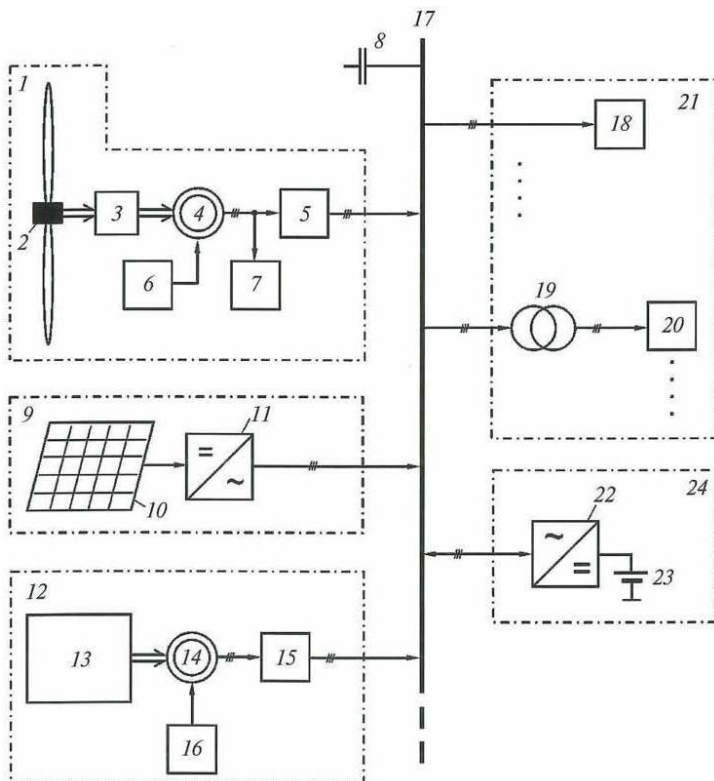


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема гибридной электростанции при параллельном функционировании ветровой энергетической и фотоэлектрической и дизель-генераторной установки:

1 - Ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3- редуктор-мультипликатор; 4, 14 – синхронные электромашинные генераторы; 5, 15 – устройства плавного пуска; 6, 16 – регуляторы тока возбуждения синхронных генераторов; 7 – блок балластных нагрузок; 8 – компенсатор реактивной мощности; 9 – фотоэлектрическая установка; 10- солнечная панель; 11 – импульсный преобразователь постоянного напряжения в переменное (инвертор); 12 – дизель-генератор; 13 – дизельный двигатель; 17 – шина переменного тока 220/380 В, 50 Гц; 18 – потребители 220/380 В; 19 – силовой повышающий трансформатор; 20 – потребители 6 или 10 кВ; 21 – объект децентрализованного электроснабжения; 22 – двунаправленный преобразователь переменного напряжения в постоянное; 23 – блок аккумуляторных батарей; 24 – буферный накопитель электроэнергии

Рассматриваемая система автономного электроснабжения проста

для реализации, что позволяет легко масштабировать ее, устанавливая, например, несколько ВЭУ. Благодаря отсутствию дополнительных преобразований электроэнергии обеспечивается высокий КПД энергетической системы в целом. Однако данный способ построения системы требует наличия на выходах электрических генераторов заданных, одинаковых и постоянных значений напряжения и частоты сети, что предполагает применение ВЭУ со сложными системами аэродинамической стабилизации частоты вращения ветроколеса и мультипликатором или с использованием асинхронной машины с фазным ротором при соответствующем ее управлении от сетевого инвертора.

Подобные ВЭУ подходят для большой ветроэнергетики, но находят крайне ограниченное применение при построении малых энергетических систем ввиду большой стоимости установок. В настоящее время в малой ветроэнергетике преимущественное распространение получили безредукторные конструкции ВЭУ с многополюсными электрическими генераторами на постоянных магнитах, работающими при переменной частоте вращения ветроколеса, что обеспечивает высокую эффективность использования первичной энергии воздушного потока при относительно невысокой стоимости установки. Но при этом для каждой ветроэнергетической установки необходим индивидуальный преобразователь, построенный по схеме выпрямитель-инвертор. Помимо этого требуются индивидуальный инвертор для каждой ФЭУ, включаемой в состав автономной энергосистемы, и двунаправленный преобразователь постоянного напряжения в переменное для буферного накопителя электроэнергии, который в большинстве практических случаев выполняется на базе аккумуляторных батарей.

По мощности ВЭУ подразделяются примерно на:

- микро с установленной мощностью до 5 кВт.
- малые с установленной мощностью от 5 до 20 кВт.
- средние с установленной мощностью от 100 до 500 кВт.
- крупные с установленной мощностью от 500 до 1000 кВт.
- мегаваттного класса с единичной установленной мощностью выше 1 МВт.

В таблице 3.1 в качестве примера представлены технические характеристики ВЭУ *YASHEL WT500i / 12V*.

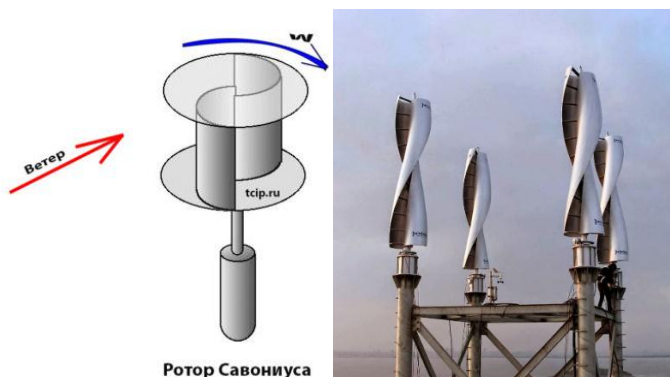
Таблица 3.1 – Технические характеристики ВЭУ YASHEL WT500i / 12V

№	Наименование параметра	Количественный параметр
1.	Напряжение номинальное (В)	12
2.	Мощность номинальная (Вт)	420
3.	Максимальная мощность, Вт	540
4.	Тип генератора	Бесщеточный, на постоянных магнитах, с прямым приводом, не требующий обслуживания
5.	Защита от ветра (метод торможения)	электромагнитный
6.	Шум, дБ	40
7.	Диаметр ротора, м	103
8.	Стартовая скорость ветра, м/с	2,8
9.	Номинальная скорость ветра, м/с	14-15
10.	Максимальная скорость ветра, м/с	45
11.	Длина лопасти, см	50
12.	Направление вращения лопастей	по часовой стрелке, если смотреть спереди

По признаку работы с постоянной или временной частотой вращения ВК.

3.2. ВЭУ с ротором Савониуса

ВЭУ с ротором Савониуса состоят из двух цилиндров. Постоянное осевое вращение и поток ветра не находятся в зависимости друг от друга. Даже при резких порывах он крутится с заданной изначально скоростью. На рис. 3.2 представлены внешние виды ВЭУ ротора Савониуса.



Ротор Савониуса

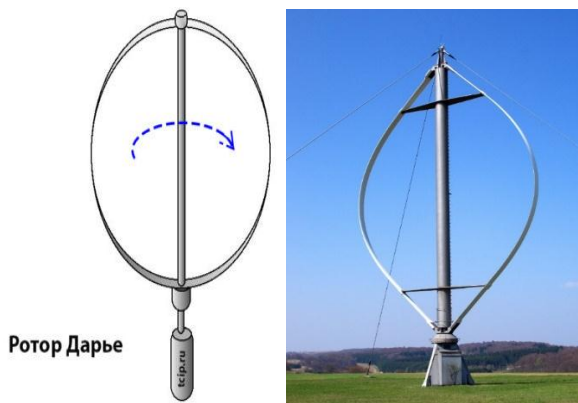
Рисунок 3.2 – Внешние виды ВЭУ с ротором Савониуса

Отсутствие влияния ветра на скорость вращения – хорошее преимущество. Однако энергия ветра применяется в не полной мере, а лишь только на треть. Устройство лопастей в виде полуцилиндров позволяют работать лишь в четверть оборота.

3.3. ВЭУ с ротором Дарье

ВЭУ с ротором Дарье имеют две или три лопасти. Легко монтируются. Конструкция простая и понятная. Начинают работать от запуска вручную.

На рис. 3.3 представлены внешние виды ВЭУ с ротором Дарье.



Ротор Дарье

Рисунок 3.3 – Внешние виды ВЭУ с ротором Дарье

Недостаток – ВЭУ с данным ротором не отличаются мощной выработкой энергии. Сильная вибрация становится причиной сильного

шумового загрязнения близлежащей области. Данному явлению способствует значительное количество лопастей.

3.4. ВЭУ с геликоидным ротором

ВЭУ с геликоидным ротором происходит равномерно благодаря закрученным лопастям. Подшипники не подвержены быстрому износу, что значительно продляет срок эксплуатации.

На рис. 3.4 представлены внешние виды ВЭУ с геликоидным ротором.



Рисунок 3.4 – Внешние виды ВЭУ с геликоидным ротором

Монтаж установки требует много времени и сопряжен с трудностями при сборке и монтаже. Сложная технология изготовления данного вида ВЭУ способствует увеличению капитальных и эксплуатационных затрат.

3.5. ВЭУ с многолопастным ротором

Вертикально – осевая конструкция ВЭУ с большим количеством лопастей делает его чувствительным даже к очень слабому ветру. Эффективность данного вида ВЭУ очень высокая.

Многолопастное ВЭУ является мощным генератором электроэнергии. Энергия ветра преобразуется в максимальном порядке. Однако данный вид установки имеет значительные капитальные затраты.

Недостаток – значительное шумовое загрязнение и электромагнитные колебания. На рис. 3.5 представлены внешние вид ВЭУ с многолопастным ротором.

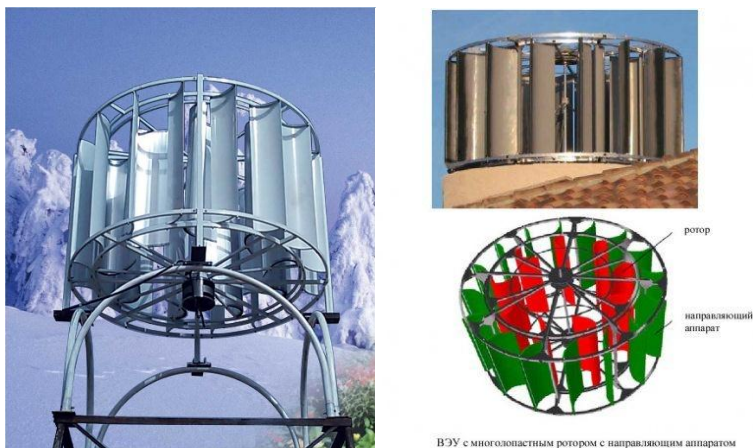


Рисунок 3.5 – Внешние вид ВЭУ с многолопастным ротором

3.6. ВЭУ с ортогональным ротором

Данный вид ВЭУ начинает вырабатывать электроэнергию при скорости ветра в 0,7 м/сек. Состоит из вертикальной оси и лопастей. Не производит много шума, отличается красивым необычным дизайном. Срок службы несколько лет.

Лопасты с большим весом делает его громоздким, что усложняет монтажные работы.

Преимущества:

- Использование генераторов возможно даже при слабом ветре.
- Не настраиваются на ветровые потоки, так как не зависят от его направления.
- Устанавливаются на короткой мачте, что позволяет производить обслуживание систем на земле.

- Шумовое загрязнение в пределах 30 дБ.

- Разнообразный, приятный внешний вид.

Недостатки:

- Применение силы и энергии ветра не полностью вследствие невысокой вращательной скорости ротора.

На рис. 3.6 представлены внешние виды ВЭУ с ортогональным ротором.

ОРТОГОНАЛЬНЫЕ РОТОРЫ



Рисунок 3.6 – Внешние виды ВЭУ с ортогональным ротором

3.7. Горизонтальные ВЭУ

Разные модификации горизонтальных ВЭУ имеют от 1 до 3 лопастей и более. Следовательно, коэффициент полезного действия намного выше, чем у вертикальных.

Преимущества:

- Экономическая доступность.
- Легкость в сборке и монтаже.
- Высокая производительность.
- Однолопастные и двухлопастные. Отличаются высокими двигательными оборотами. Масса и габариты установки небольшие, что облегчает установку.
- Трехлопастные. Пользуются спросом на рынке. Могут вырабатывать энергию до 7 МВт.
- Многолопастные установки имеют до 50 лопастей. Отличаются большой инерцией. Преимущества крутящего момента используют в работе водяных насосов.

Недостатки:

- Необходимости ориентирования башни ВЭУ на направление ветра.
- Постоянное перемещение снижает скорость вращения, что понижает его производительность.
- Орнитологическая опасность.
- Шумовое загрязнение близлежащей области.
- Электромагнитное загрязнение близлежащей области.

На современном рынке появляются ветрогенераторы с отличными от классических конструкциями, например, встречаются гибридные. На рис. 3.7 представлена общая схема башни горизонтального ВЭУ.

На данной схеме видно, что вследствие влияния воздушных потоков ротор ВЭУ приводится в движение вместе с коробкой передач через первичный вал. Вследствие движения коробки передач с увеличением скорости вращения приводится в действие генератор ВЭУ, где вырабатывается э/э. Направление воздушных потоков (ветра) определяется посредством функционирования поворотного механизма с мотором, устройства ЧПУ и датчиком ветра. Возможно автоматическое изменение угла атаки лопастей в целях увеличения производительности ВЭУ.

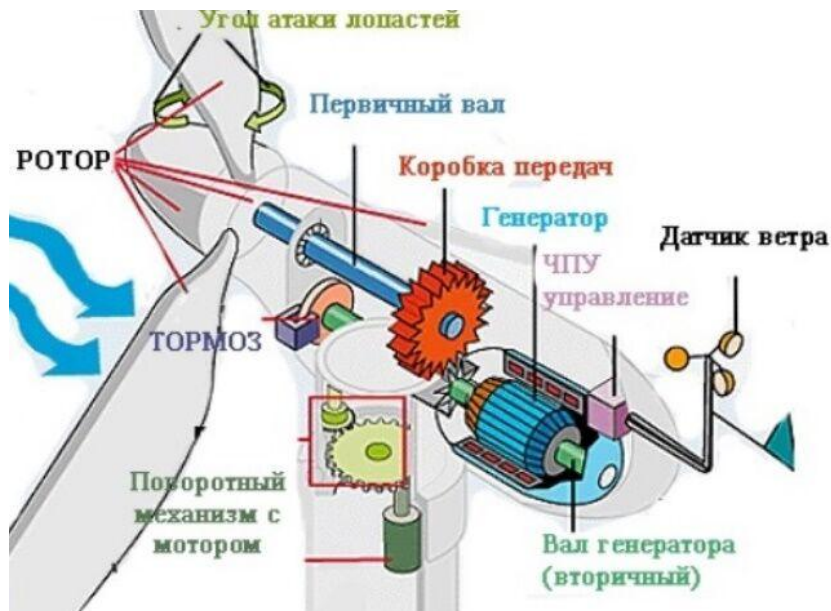


Рисунок 3.7 – Общая схема башни горизонтального ВЭУ

На рис. 3.8 представлена общая схема малой ВЭС с горизонтальным ВЭУ с указанием всех необходимых комплектующих.

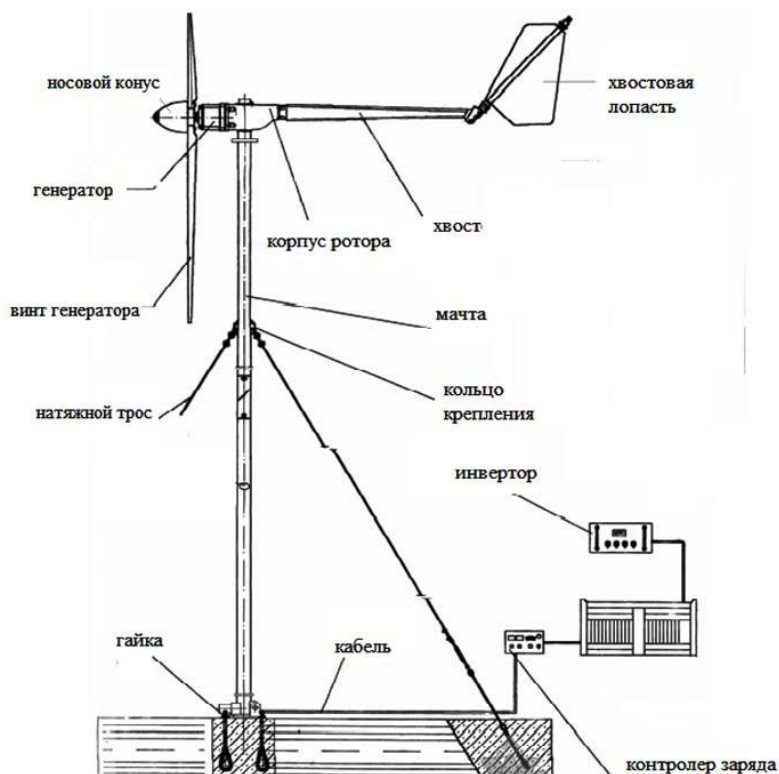


Рисунок 3.8 – Общая схема ВЭС с горизонтальным ВЭУ

3.8. Примечания к ВЭУ

ВЭУ применяются в объектах промышленности и бытовой жизни потребителей электроэнергии. Промышленные ВЭУ используются для нужд производства или обеспечения электроэнергией небольших поселков в условиях отсутствия или дефицита электроснабжения. Устанавливаются на открытой пустынной местности в большом количестве.

ВЭУ, преимущественно простые, предназначены для домашнего использования на дачных участках. В зимнее холодное время для экономии электричества сооружаются на территории жилых домов. Простой ВЭУ выдает энергию в зависимости от количества ветренных дней.

Для вертикального и горизонтального ВЭУ КПД примерно

одинаков. Для вертикальных он составляет 20-30%, для горизонтальных 25-35%. КПД зависит от типа ВЭУ и скорости ветра.

Некоторые производители увеличивают КПД вертикальных ВЭУ до 15%, заменяя подшипники на постоянные неодимовые магниты. Но данное незначительное повышение эффективности всего на 3-5% ведет к значительному удорожанию конструкций.

В среднем продолжительность выработки энергии в ВЭУ рассчитана на 15-25 лет. Изнашиваются быстрее всего опорно-подшипниковый узел и лопасти. Срок службы которых зависит от качества обслуживания.

Цены на ВЭУ достаточно высокие. Данные громоздкие конструкции производятся из дорогостоящего материала. Имеют в комплекте АКБ, контроллер, инвертор и мачту (башня).

Технические характеристики ВЭУ влияют на стоимость в виде:

- ВЭУ с малой мощностью – до 0,3 кВт. Производит энергию при силе ветра от 10-12 м/с. Комплект данного ВЭУ только с контроллером стоит от 25 000 рублей. В комплектации с инвертором, аккумулятором и мачтой цена доходит до 60 000 рублей.

- ВЭУ с установленной мощностью 1 кВт. При слабом ветре в среднем производят энергии от 30-100 кВт·ч в месяц. Для большого дома с высоким потреблением электроэнергии рекомендуется использовать в дополнение дизельный и бензиновый генераторы. Они будут заряжать АКБ в дни полного безветрия. Стоимость данного ВЭУ составляет от 150 000 рублей до 400 000 рублей с более полной комплектацией.

- Электрический расход в большом доме с приусадебным хозяйством потребует ВЭУ с установленной мощностью от 3 до 5 кВт. Стоимость достаточного количества АКБ, мощного инвертора, контроллера, мачты составляет от 400 000 рублей до 1 000 000 рублей.

В связи с возрастающим спросом на экологически чистый способ выработки электроэнергии, на рынке появляются предложения от ведущих производителей ВЭУ. Можно подобрать оптимальный вариант ВЭУ от следующих производителей:

- Дания “Vestas” с долей рынка – 12,7%.
- Китай “Snovel” – 9,0%.
- Китай “Goldwind” – 8,7%.
- Испания “Gamesa” – 8,0%.
- Германия “Enercon” – 7,8%.
- Индия “Suzlon” – 7,6%.
- Китай “Guodian United Power” – 7,4%.
- Германия “Siemens” – 6,3%.

- Китай “*Ming Yang*” – 3,6%.

Правила выбора ВЭУ:

1. Рассчитать количество энергии, необходимой для обеспечения объекта потребления э/э.
2. Определить среднегодовую скорость ветра, учесть в какое время ВЭУ будет не функционировать, а в какое дать достаточный объем э/э. Мощность необходимо брать с запасом до $\pm 15\%$. Вычислить необходимо количество АКБ для накопления энергии на случай штилевой погоды.
3. Учесть климатические особенности места размещения ВЭУ. На территории Якутии значительную часть года преобладает период отрицательных температур.
4. Дождь и снег уменьшают выработку энергии.
5. Обратить внимание на количество лопастей. Чем меньше лопастей ВЭУ, тем больше КПД ВЭУ.
6. Определить показатель шумового загрязнения при эксплуатации ВЭУ.
7. Выполнить сравнение параметров ВЭУ. Внимательно знакомиться с их техническими и сравнительными характеристиками.
8. Выполнить обзор производителей при выборе генератора.

3.9. Рекомендуемые видеоматериалы

- Виды Ветрогенераторов. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=DxVOEHj9k>.
- Вертикальные ветрогенераторы Turbina Energy. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=vriW1utTebk>.
- Вертикальный ветряк на новом контроллере. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=UBLoUbQ4Q1I>.
- Как устанавливают большие ветрогенераторы? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=qN1LQwMggBU>.
- Ветрогенератор - срок службы и стоимость техобслуживания. Обслуживание ветряков. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=IJzcQ18P_xY.
- Принцип работы ветрогенератора на примере модели SEAH-400W. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Z9Dj73YR2Io>.

3.10 Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Приведите классификацию ВЭУ.
2. Какой вид ВЭУ наиболее предпочтителен для электроснабжения малых и удаленных потребителей электроэнергии?
3. В чем основной смысл работы ВЭУ с гелиокоидным ротором?
4. Как выбрать наиболее оптимальный вариант ВЭУ?
5. Расскажите о функционировании горизонтального ВЭУ.
6. Как производится движение башни горизонтального ВЭУ в зависимости от направления ветра?
7. Приведите преимущества и недостатки горизонтальных ВЭУ.
8. Как производится строительство крупных горизонтальных ВЭУ?
9. Приведите перечень основных производителей ВЭУ.
10. В чем преимущество многолопастного ВЭУ.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В ходе изучения видов ВЭУ определено, что в целях электроснабжения населенных пунктов рекомендуется эксплуатация горизонтальных ВЭУ. Существуют вертикальные ВЭУ предназначенные для электропитания малых потребителей в условиях малой скорости ветра.

В данной главе представлена информация о ветроэнергетических ресурсах РФ и Якутии, электроэнергетических закономерностях функционирования ветровой электростанции с приведением различных выражений, формул и графических интерпретаций.

4.1. Ветровые энергетические ресурсы России

Ветровые энергетические ресурсы (ВЭР) на Земле огромны. Потенциальные запасы ветровой энергии в 100 раз превышают запасы гидроэнергии всех рек на земном шаре и примерно составляют до $3,3 \cdot 10^{15}$ кВт·ч/год⁶. Ресурсы ветровой энергии на территории России достаточно сильно варьируют.

Технический потенциал ВЭР России составляют $30 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год, а по северной части РФ – $14 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год. Валовой потенциал ветровой энергии в России оценивается в $26,5 \cdot 10^9$ кВт·ч/год, технический потенциал – $4,4 \cdot 10^9$ т.у.т., а экономически выгодный – 10 млн. т.у.т. По самым последним данным распределение ВЭР выглядит следующим образом: валовой потенциал – $2,609 \cdot 10^{15}$ кВт·ч/год, технический – $19,75 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год и экономический – $98,77 \cdot 10^9$ кВт·ч/год.

На рис. 4.1 представлена карта среднегодовых скоростей ветра на территории России, рис. 4.2 – карта среднегодовых скоростей ветра на территории России с учетом вида местности и рис. 4.3 – карта ветровых районов России.

⁶ Константинов, А. Ф. Нетрадиционные энергоисточники Якутии / А. Ф. Константинов ; А. Ф. Константинов ; отв. ред. Н. С. Бурянина ; Якутский гос. ун-т им. М. К. Аммосова, Горно-геологический ин-т. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – ISBN 5-91138-035-8.

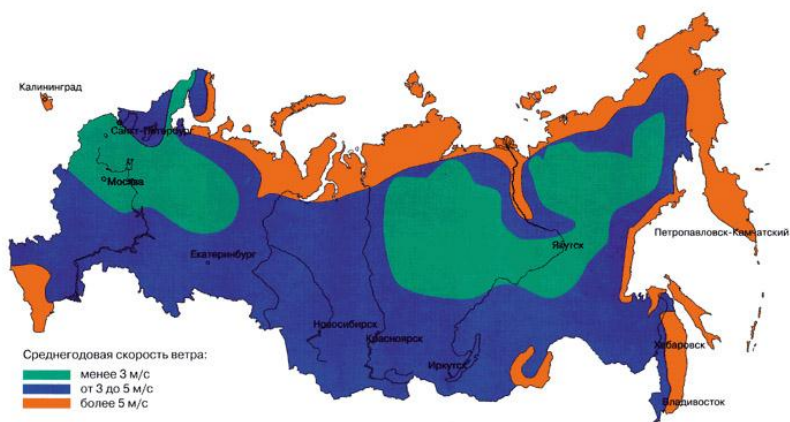


Рисунок 4.1 – Карта среднегодовых скоростей ветра на территории России



Рисунок 4.2 – Карта среднегодовых скоростей ветра на территории России с учетом вида местности

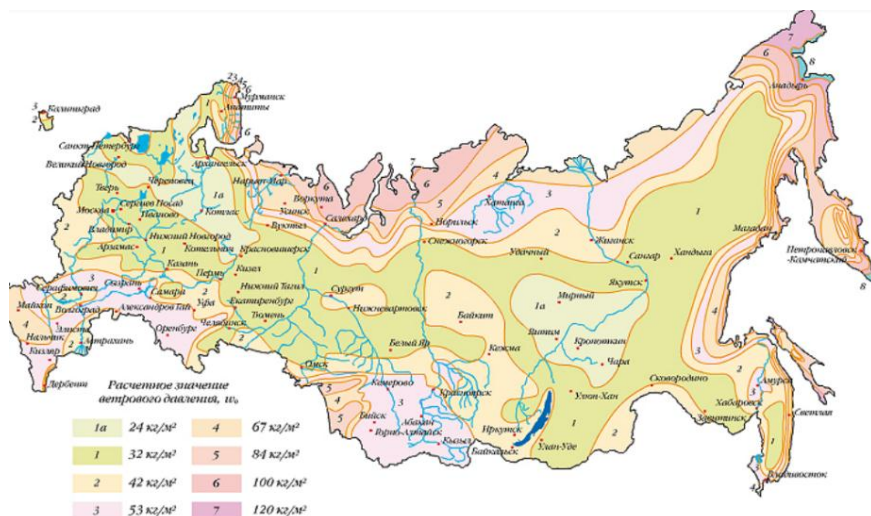


Рисунок 4.3 – Карта ветровых районов России

Известно, что в значительной части России преобладают ветра со среднегодовой скоростью 5-7 м/с, при котором современные ВЭУ работают достаточно эффективно. К данным областям относится все морское побережье, а также зоны, прилегающие к крупным озерам и водохранилищам.

В континентальных районах имеются локальные участки, где с успехом можно эксплуатировать ВЭУ – это долины рек, горная местность, открытые местности и др. Длительность действия энергетически «ценных» ветров составляет от 2000 до 5000 ч/год (общее количество часов в год – 8750).

Характерной особенностью ветровой энергии является ее непостоянство по величине, по времени и по направлению, исходящей из случайного неуправляемого природного процесса.

Ветровая энергия отличается низкой плотностью энергии, приходящейся на единицу площади, благодаря малой плотности воздуха. Следовательно, чтобы получить достаточную мощность ВЭУ приходится использовать ветроколеса (ВК) большого диаметра. При этом удельные экономические показатели ВЭУ имеют приемлемые величины только до определенной величины этого диаметра. Поэтому для каждого ВЭУ имеются оптимальные размеры ВК, зависящие от его конструкции, типа и назначения, а также ветровых условий местности. Считается, что использование ВЭУ наиболее выгодно, если кривая распределения скоростей ветра в течение года имеет наиболее частую

повторяемость в диапазоне⁷.

4.2. Климатические особенности и ветровые энергетические ресурсы Республики Саха (Якутия)

Республика Саха (Якутия) расположена в северо-восточной части Евразийского материка и является самым большим регионом Российской Федерации. Общая площадь континентальной и островной (Ляховские, Анжу и Де-Лонга, входящие в состав Новосибирских островов Северного Ледовитого океана) территории Якутии составляет 3,1 млн. кв. км. Свыше 40% территории республики находится за Полярным кругом. В ее пределах расположены три часовых пояса.

Протяженность Якутии в широтном направлении — 2500 км, в меридиональном — 2000 км. Самая западная точка — на границе с Эвенкийским автономным округом (105° в.д.), восточная — на границе с Чукотским автономным округом (165° в.д.), южная — на Становом хребте (55°30'39 с.ш.), северная материковая — на мысе Нордвик (74° с.ш.) и северная островная — на острове Генриетты (77° с.ш.).

Республика Саха (Якутия) граничит на западе с Красноярским краем, на юго-западе — с Иркутской областью, на юге — с Амурской и Читинской областями, на юго-востоке — с Хабаровским краем, на востоке — с Магаданской областью и Чукотским автономным округом. На севере ее естественные рубежи образуют моря Лаптевых и Восточно-Сибирское. Общая протяженность морской береговой линии превышает 4,5 тыс. км.

Республика Саха (Якутия) вместе с Приморским, Хабаровским и Камчатским краями, Амурской, Магаданской, Сахалинской областями, Еврейской автономной областью и Чукотским автономным округом входит в состав Дальневосточного федерального округа.

Территория Якутии находится в пределах 3 часовых поясов, их разница с московским временем составляет +6, +7, + 8 часов. До настоящего времени Якутия является одним из самых изолированных и труднодоступных регионов мира в транспортном отношении: 90% территории не имеет круглогодичного транспортного сообщения.

Якутия характеризуется многообразием природных условий и

⁷ Местников, Н.П. Актуальность эксплуатации ВЭУ в условиях Крайнего Севера / Н. П. Местников // Электроэнергетика глазами молодежи : труды VI международной научно-технической конференции, Иваново, 09–13 ноября 2015 года. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2015. – С. 260-263.

ресурсов, что обусловлено физико-географическим положением ее территории. Большую часть занимают горы и плоскогорья, на долю которых приходится более 2/3 ее поверхности, и лишь 1/3 расположена на низменности. Самая высокая точка — гора Победа (3147 м) — находится на хребте Черского.

Почти вся континентальная территория Якутии представляет собой зону сплошной многовековой мерзлоты, которая только на крайнем юго-западе переходит в зону ее прерывистого распространения. Средняя мощность мерзлого слоя достигает 300-400 м, а в бассейне реки Вилюй — 1500 м: это максимальное промерзание горных пород на земном шаре. В горах Восточной Якутии 485 ледников общей площадью 413 кв. км и с запасом пресной воды около 2 тыс. куб. м.

Природно-климатические условия Якутии во многих отношениях характеризуются как экстремальные. Прежде всего, Якутия — самый холодный из обжитых регионов планеты. Климат резко континентальный, отличается продолжительным зимним и коротким летним периодами. Максимальная амплитуда средних температур самого холодного месяца — января и самого теплого — июля составляет 70-75°C. По абсолютной величине минимальной температуры (в восточных горных системах — котловинах, впадинах и других понижениях до минус 70°C) и по ее суммарной продолжительности (от 6,5 до 9 месяцев в год) республика не имеет аналогов в Северном полушарии. Сама жизнедеятельность человека и способы ведения хозяйства требуют особых подходов и технологий, исходя из условий каждой природно-климатической зоны. Так, в среднем на территории Якутии продолжительность отопительного сезона составляет 8-9 месяцев в году, в то же время в арктической зоне — она круглогодична.⁸

На территории Якутии наиболее перспективными местами для строительства ветровых электростанций являются:

- Побережье Ледовитого океана от западной до восточной границы республики полосой от 100 до 200 км.

- Отдельные локальные участки на горных перевалах и в долинах многих рек, ориентированных на господствующие ветра.

Таким образом, ветровой режим Якутии во многом зависит от ландшафтных условий. В северной части Якутии высокогорные районы представлены мощными системами, ориентированные на

⁸ Общие сведения. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://clck.ru/bnEr3> (дата обращения 22.02.2022)

меридиональное направление. К ним относятся системы хребтов Верхоянского, Момского, Черского и др. и только горные образования Станового хребта на юге Якутии имеют широтное направление. Отдельные вершины хребтов достигают высоты 3 000 м над уровнем моря и выше.

На побережье моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря средняя скорость ветра колеблется от 2 до 7,1 м/с. В зимнее время основным барическим образованием у поверхности земли является Азиатский антициклон.

В летнее время на побережьях морей дуют ветры в направлении, обратном зимнему, т.е. имеют мусонный характер. Ветры антициклонического характера отличаются в январе и феврале. В летнее время в связи с усилением циклонической деятельности, средняя скорость выше, чем зимой в отличие, например, от характера сезонной неравномерности на северо-западе России.

Среднегодовая скорость ветра на территории Якутии составляет 2,56 м/с.

На рис. 4.4 представлена карта Республики Саха (Якутия) с указанием областей в виде темных кругов, где рекомендуется строительство ВЭС.

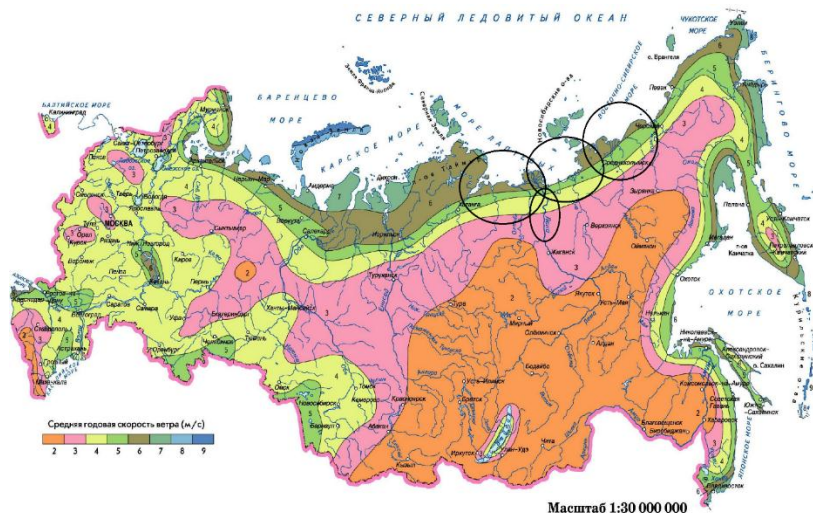


Рисунок 4.4 – Карта Республики Саха (Якутия) с указанием областей в виде темных кругов, где рекомендуется строительство ВЭС

4.2 Оценка эффективности и эксплуатации ВЭУ

Для правильной оценки эффективности использования ВЭУ необходимо знать следующие характеристики ветрового режима местности:

- Среднегодовую скорость ветра.
- Рабочий интервал скорости ветра.
- Годовой, сезонный, месячный и суточный ход ветра.
- Повторяемость различных скоростей ветра в течение года.
- Максимальные скорости ветра.
- Продолжительность штилей.
- Изменение скорости ветра по высоте и т.д.

При эксплуатации ВЭУ необходимо знать следующие характеристики ветрового режима:

• Расчетная скорость ветра, определяющую установленную мощность ВЭУ.

• Скорость ветра, при которой вступает в действие система автоматического регулирования мощности ВЭУ.

К ВЭУ предъявляются следующие требования:

• Иметь по возможности меньшие значения минимальных рабочих скоростей ветра (скорость трогания ВК).

• Обладать хорошей приемистостью, т.е. быстрым разгоном ВК и выходом на рабочий режим работы.

• Отличаться максимальной простотой конструкции и обслуживания и иметь высокую надежность работы.

4.3 Закономерности по расчету электроэнергетических параметров функционирования ВЭУ

Основной характеристикой ветра является его скорость, за расчетную величину которой, как правило, принимается среднегодовое ее значение, имеющее достаточно стабильную величину.

При этом отмечается, что среднегодовая скорость ветра мало отличается от среднегодовой (разница составляет в пределах $\pm 15\%$), в то время, как другая важная характеристика – повторяемость ветра, отклоняется в пределах $\pm 50\%$).⁹

Достаточно заметное влияние на мощность ветрового потока оказывает температура воздушной среды и атмосферное давление. Понижение температуры воздушной среды от $+15$ до 0 °C повышает

⁹ Дьяков А.Ф., Перминов Э.М., Шакарян Ю.Г. Ветроэнергетика России. Состояния и перспективы развития. – М.: Изд-во: МЭИ, 1996 г. – С. 220.

мощность ветрового потока примерно на 6%, а повышение от +15 до +30 °С снижает его примерно на 5%. Понижение же атмосферного давления, например, от 770 до 730 мм рт. ст. ослабляет мощность ветра на 6%.¹⁰

Вышеуказанные наблюдения взаимосвязаны вследствие изменения плотности воздуха, которая изменяется в зависимости от температуры воздушной среды и влажности воздуха в соответствии с выражениями 4.1-4.4.¹¹

$$P_{нас} = 6,1078 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot (271,15 + T) - 2048,625}{271,15 - 35,85}} \quad (4.1)$$

где $P_{нас}$ – давление насыщенного пара, Па; T – температура воздушной среды, °С.

$$P_n = P_{нас} \cdot \frac{\varphi}{100} \quad (4.2)$$

где P_n – давление водяного пара, Па; φ – относительная влажность воздуха, %.

$$P_v = P_{атм} - P_n \quad (4.3)$$

где P_v – парциальное давление воздуха, Па; $P_{атм}$ – атмосферное давление, Па ($\approx 101\,325,00$ Па).

$$\rho = \frac{\left(\frac{P_n}{287,058} + \frac{P_v}{461,495} \right)}{271,15 + T} \quad (4.4)$$

где ρ – расчетная плотность воздуха, кг/м³.

Таким образом, вычисляется показатель плотности воздуха в зависимости от температуры воздушной среды и влажности воздуха.

Мощность ветрового потока, проходящего через некоторую поперечную площадь пространства, определяется по выражению 4.5.

$$P = 0,0049 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot F \quad (4.5)$$

¹⁰ Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 391.

¹¹ Лаптева Е.А., Сайтбалов М.В. Монография / Тепломассообмен и энергоэффективность противоточных пленочных аппаратов; под ред. А. Г. Лаптева ; ФГБОУ ВПО "КГЭУ". - М. : Теплотехник, 2014. - 207 с.

где P – мощность ветрового потока, кВт; ρ – плотность воздуха, зависящая от температуры воздушной среды, влажности воздуха и атмосферного давления, кг/м³; V – скорость ветра, м/с; F – площадь поперечного сечения, м².

Мощность ВЭУ зависит от величины ометаемой ВК площади, т.е. от диаметра ВК и скорости ветра. При этом некоторая часть мощности теряется в процессе преобразования ветровой энергии в электрическую (в редукторе и генераторе), а также при взаимодействии ветра с лопастями ВК. Выражаем ометаемую площадь через диаметр (D) ВК и получаем расчетную мощность ВЭУ в виде выражения 4.6.

$$P_{ВЭУ} = 0,0038 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot D^2 \cdot C_p \cdot \eta_p \cdot \eta_r \quad (4.6)$$

где $P_{ВЭУ}$ – расчетная мощность ВЭУ, кВт; ρ – плотность воздуха, зависящая от температуры воздушной среды, влажности воздуха и атмосферного давления, кг/м³; V – скорость ветра, м/с; D – диаметр ВК, м; C_p – коэффициент использования энергии ветра, о.е.; η_p – КПД редуктора ВЭУ, которая принимается $\approx 0,9$; η_r – КПД генератора ВЭУ, которая принимается $\approx 0,95$. Величина плотности воздуха может вычисляться в соответствии с выражениями 4.1-4.4 или приниматься, как $\approx 1,22$ кг/м³.

Величина коэффициента использования энергии ветра (C_p) у горизонтальных ВЭУ составляет от 0,35 до 0,45 в зависимости от типа ВК. К примеру коэффициент использования энергии ветра у вертикальных ВЭУ составит ориентировочно от 0,15 до 0,25.

В практических расчетах и натурных испытаниях ВЭУ данный коэффициент составляет: от 0,45 до 0,48 – для быстроходных ВК; от 0,36 до 0,38 – у тихоходных ВК. В лучших промышленных образцах ВЭУ данный параметр достигает 0,68-0,76. При этом под быстроходностью (Z) понимается отношение скорости движения конца лопасти ВК к скорости ветрового потока. Оптимальными значениями являются: от 5 до 7 – у 2-лопастных ВЭУ; от 4 до 5 – 3-лопастных ВЭУ; от 2,5 до 3,5 – 6-лопастных ВЭУ.

Частота вращения ВК пропорциональна Z и обратно пропорциональна диаметру ВК. Для большинства ВЭУ минимальной скоростью ветра считается скорость равная от 4,0 до 4,5 м/с (скорость трогания ВК); меньшие скорости относятся к градации энергетического затишья.

По выражению 4.7 определяются максимальные мощности ВЭУ, размещенных на 1 км² площади, при условии их работы без взаимных аэродинамических воздействий.

$$P = 4,81 \cdot U_p \cdot C_p \cdot \eta_p \cdot \eta_z \quad (4.7)$$

где U_p – расчетная скорость ветра, м/с; C_p – коэффициент использования ветрового потока, о.е.; η_p – КПД редуктора ВЭУ, которая принимается $\approx 0,9$; η_z – КПД генератора ВЭУ, которая принимается $\approx 0,95$.

По выражению 4.8 можно дополнительно определить удельную мощность ветрового потока:

$$N_{ветра} = \frac{\rho \cdot V^3}{2} \quad (4.8)$$

где $N_{ветра}$ – мощность ветрового потока, Вт; ρ – плотность воздуха, кг/м³; V – скорость ветра, м/с.

По выражению 4.9 можно дополнительно определить реальную мощность ВЭУ с учетом потерь при преобразовании энергии ветра в механическую, в самом ВК, потерь на трение в подшипниках и затрат энергии на собственные нужды:

$$N = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2} \cdot \eta_{ВЭУ} \quad (4.9)$$

где N – реальная мощность ВЭУ, Вт; D – диаметр лопасти ВЭУ, м; ρ – фактическая плотность воздуха, кг/м³; V – скорость ветра, м/с; $\eta_{ВЭУ}$ – действительный коэффициент мощности, принимается как 0,4.

4.4 Закономерности по расчету потерь и параметров работы системы накопления энергии на ВЭС

Однако одним из необходимых условий является учет общих потерь энергии при функционировании ветровых электростанций, которые включают в себя:

- Потери в проводах – 1% от суммарной выработки э/э.
- Потери в инверторе – 3-7% от суммарной выработки э/э.
- Потери шунтирующих диодов – 0,5% от суммарной выработки э/э.
- Потери изменении условий окружающей среды, где меняется плотность воздуха.

При оптимальной компоновке оборудования эффективность ветровой системы в 85% считается очень хорошей. На практике возможны случаи, когда общие потери могут достигать значения от 25 до 30% вследствие плохого качества оборудования или неправильного подбора компонентов системы и других факторов.

На рисунке 4.5 представлены внешний вид и общая схема системы накопления энергии для объектов ВИЭ, которая является одним из главных частей автономной или гибридной ветровой электростанции, состоящая из группы секций силовых аккумуляторов.



Рисунок 4.5 – Внешний вид и общая схема системы накопления энергии для объектов ВИЭ модели «DRM Makelsan»:

- 1 - Преобразователь энергии; 2 - Канал выхода горячего воздуха преобразователя мощности; 3 - Основная панель переменного тока;
- 4 - Карта тревоги АС-2; 5 - Карта тревоги АС-3; 6 - Батареяная группа -2; 7 - Батареяная группа -1; 8 - Панель тревоги на двери батарейного отделения; 9 - Выход мощности (~220 В/16А)

Объединенная группа АКБ называется батареей элементов или системой накопления энергии. В настоящий момент существуют два основных способа соединения элементов в батареи, а именно:

- Последовательное соединение.
- Параллельное соединение.
- Параллельно-последовательное соединение.

Далее рассмотрим особенности последовательного, параллельного и параллельно-последовательного соединения аккумуляторов. Существуют разные ситуации, когда может потребоваться увеличить общую емкость или поднять напряжение, прибегнув к параллельному или последовательному соединению нескольких аккумуляторов в батарею, и всегда нужно помнить о нюансах.

При последовательном соединении аккумуляторных батарей, емкость общей батареи остается такой же, как и у каждого аккумулятора из цепи, а напряжение суммируется.

Таким образом, при последовательном соединении 4шт. АКБ 200 А·ч, 12 В – мы получим общую батарею емкостью 200 А·ч, и напряжением 48 В.

На рисунке 4.6 представлена общая схема последовательного соединения аккумуляторных батарей.

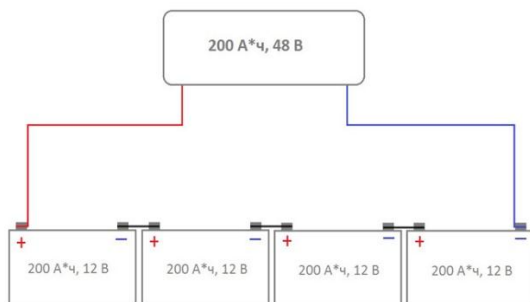


Рисунок 4.6 – Схема последовательного соединения аккумуляторной батареи

При параллельном соединении АКБ – напряжение общей батареи остается такой же, как и у каждой батареи из цепи, а емкость суммируется.

Таким образом, при параллельном соединении 4 шт. АКБ 200 А·ч, 12 В – мы получаем общую батарею емкостью 800 А·ч, напряжением 12 В.

На рисунке 4.7 представлена общая схема параллельного соединения аккумуляторных батарей.

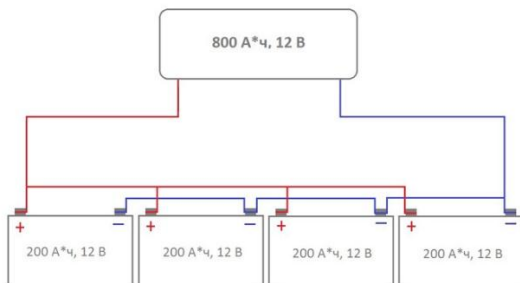


Рисунок 4.7 – Схема параллельного соединения аккумуляторной батареи

Комбинированный вариант используется при построении систем, где нужно достичь более высокой емкости и напряжения.

На рисунке 4.8 представлена общая схема параллельно-последовательного соединения аккумуляторных батарей.

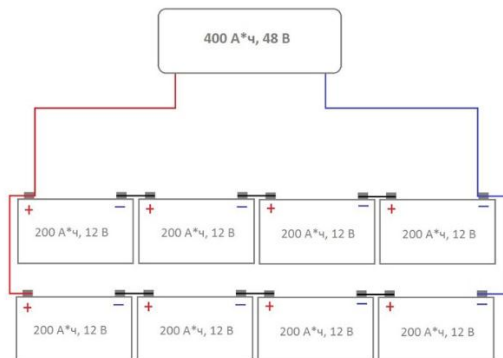


Рисунок 4.8 – Схема параллельно-последовательного соединения аккумуляторных батарей

На примере существующих объектов солнечной энергетически на территории нашего региона предприятия АО «Сахаэнерго» эксплуатируются в основном свинцовые и гелиевые аккумуляторы, служба работы которых составляет от 2 до 4 лет. Система накопления энергии должна размещаться в отапливаемых помещениях с поддержанием температурного режима не менее +15 °С.

По выражению 4.10 определяется суммарная емкость системы накопления энергии в зависимости от суммарного потребления электроэнергии.

$$Q_0 = \frac{\Sigma P_{\text{сум}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot K} \quad (4.10)$$

где $\Sigma P_{\text{сум}}$ – это суммарное суточное потребление электроэнергии, Вт·ч; Q_0 – общая (суммарная) емкость система накопления энергии (силовых аккумуляторов), А·ч; U_n – номинальное напряжение выдаваемое инвертором из солнечной электростанции для питания нужд потребителя, Вольт; K – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное, обычно принимают равным 1,2.

Известно, что силовые аккумуляторы имеют определенные показатели качества, где одним из которых является коэффициент отдачи. Данный коэффициент показывает степень эффективности функционирования силового аккумулятора, которая определяется по выражению 4.11.

$$K_{отдачи} = \frac{\sum P_{потребление} \cdot t}{\sum P_{генерация} \cdot t}, K_{отдачи} \geq 0,85 \quad (4.11)$$

где $K_{отдачи}$ – коэффициент отдачи, не менее 0.85; $\sum P_{потребление}$ – общее потребление электроэнергии со стороны потребителя, Вт; t – исследуемый промежуток времени, ч; $\sum P_{генерация}$ – генерирующая мощность объекта генерации, Вт.

4.5. Рекомендуемые видеоматериалы

➤ О лопастях, винтах, особенности работы для начинающих. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=dAiPsRaDYbg>.

➤ Ветрогенератор. Плюсы и минусы. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=oEGDLaPE2Hg>.

➤ О ветрогенераторах, принцип работы винтов, мощность, количество лопастей, быстроходность. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=tBGYDu6aPF4>.

➤ Энергия будущего: возобновляемые источники и системы накопления энергии. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=n78NsKn--WU>.

➤ Новосибирская компания предложила новый способ накопления электроэнергии. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=d-tFwGdgva0>.

➤ Илон Маск. Лучшие технологии хранения электрической энергии 2018. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=eKwPvz45Z3Q>.

4.6 Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Приведите основные параметры ветровых энергетических ресурсов России.

2. Как производится оценка эффективности ВЭУ?

3. Как производится оценка эксплуатации ВЭУ?
4. Приведите перечень закономерностей по расчету мощности ветрового потока.
5. Приведите перечень закономерностей по расчету генерирующей мощности ВЭУ.
6. От каких параметров зависит генерирующая мощность ВЭУ?
7. Как рассчитать плотность воздуха?
8. Объясните суть видов соединений силовых аккумуляторов.
9. Укажите комплектующие системы накопления энергии по объектам ВИЭ.
10. Какой вид силового аккумулятора лучше всего применять в системе накопления энергии для объектов ВИЭ?

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. На территории п. Быков Мыс (Булунский район) активно функционирует малый цех по переработке рыбной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 75 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 15 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 50%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению горизонтальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой, ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

2. На территории п. Тикси (Булунский район) активно функционирует малый цех по переработке пушнины. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 60 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 14 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 40%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению вертикальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

3. На территории п. Чокурдах (Аллаиховский район) активно функционирует малый цех по переработке пушнины. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 82,5 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 16 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 80%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению горизонтальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной

выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

4. На территории п. Черский (Нижнеколымский район) активно функционирует малый цех по переработке рыбного сырья. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 90,1 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 20 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 30%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению горизонтальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

5. На территории п. Саскылах (Анабарский район) активно функционирует малый цех по переработке мясной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 54,6 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 18 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 20%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению вертикальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

6. На территории п. Нижнеянк (Усть-Янский район) активно функционирует малый цех по переработке рыбной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 32,8 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 10 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 45%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению горизонтальных ветровых

генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

7. На территории п. Тикси (Булунский район) активно функционирует цех по переработке пушнины. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 23,7 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 20 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 65%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению горизонтальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

8. На территории с. Кыстатыам (Жиганский район) активно функционирует небольшой цех по производству молочной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 43,2 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 7,5 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 35%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению вертикальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

9. На территории г. Среднеколымск (Среднеколымский район) активно функционирует цех по переработке рыбной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 32,7 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 21 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 20%. Выполните технико-

экономические расчеты по внедрению вертикальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

10. На территории п. Тикси (Булунский район) живет небольшая семья из 3 человек в коттеджном доме. Среднесуточное потребление дома составляет около 3,2 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 7 рублей. Отец семьи планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 100%. Выполните технико-экономические расчеты по внедрению горизонтальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

11. На территории с. Борогонцы (Усть-Алданский район) живет небольшая семья из 4 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 3,7 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 6,5 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 50%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

12. На территории с. Чурапча (Чурапчинский район) живет небольшая семья из 6 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 5,1 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 6,4 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 30%. Определите возможную

установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

13. На территории с. Ытык-Кюель (Таттинский район) живет небольшая семья из 3 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 3,1 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 6,5 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 50%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

14. На территории с. Томтор (Таттинский район) живет небольшая семья из 5 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 4,2 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 7,2 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 25%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

15. На территории с. Чериктей (Усть-Алданский район) живет семья из 8 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 3,1 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 7,5 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов,

где их доля электроснабжения составляет 60%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

16. На территории с. Дыгдал (Усть-Алданский район) живет небольшая семья из 3 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 3 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 6 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 100%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

17. На территории с. Танда (Усть-Алданский район) живет небольшая семья из 3 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 2,5 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 8 рублей и 20 копеек. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 45%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

18. На территории п. Малыкай (Нюрбинский район) живет небольшая семья из 5 человек в отдельном доме на открытой местности. Среднесуточное потребление дома составляет около 4 кВт·ч. Электроснабжение дома производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч

электроэнергии составляет 7,5 рублей. Владелец дома планирует проанализировать энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 60%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните обзорный анализ по выбору вида ветрового генератора с указанием их возможных годовых, месячных выработок электроэнергии, представьте перечень необходимого силового и вспомогательного оборудования и укажите ориентировочный срок окупаемости данных мероприятий.

19. На территории п. Тикси (Булунский район) активно функционирует цех по переработке рыбной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 30,5 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 20 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 90%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните технико-экономические расчеты по внедрению вертикальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

20. На территории с. Крестовая (Нижнеколымский район) активно функционирует цех по переработке рыбной продукции. Среднесуточное потребление электроэнергии составляет около 25 кВт·ч. Электроснабжение цеха производится от центральных источников электроэнергии. Среднестатистический тариф на 1 кВт·ч электроэнергии составляет 25 рублей. Директор цеха планирует провести энергоэффективные мероприятия в виде внедрения объектов возобновляемой энергетики, а именно ветровых генераторов, где их доля электроснабжения составляет 100%. Определите возможную установленную мощность ветровой электростанции и выполните технико-экономические расчеты по внедрению вертикальных ветровых генераторов с указанием показателей годовой и ежемесячной выработки электроэнергии и со сроком окупаемости проекта и определением конкретного перечня предлагаемого оборудования ветровой электростанции.

21. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью

возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории арктической части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, российских, китайских или турецких. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера и Арктики. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

22. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории субарктической части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, российских, китайских или турецких. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

23. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории центральной части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, российских, китайских или турецких. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

24. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории западной части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, российских, китайских или турецких. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

25. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории восточной части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, российских, китайских или турецких. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в

климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

26. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории южной части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, российских, китайских или турецких. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

27. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории центральной части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, немецких, китайских или японских. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

28. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории арктической части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, немецких, китайских или японских. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

29. Выполните аналитический обзор по видам ветровых энергетических установок и типам ветровых электростанций с целью возможного применения для электроснабжения малых населенных пунктов на территории субарктической части Республики Саха (Якутия). Укажите перечень существующих производителей, желательно, немецких, китайских или японских. Составьте практические рекомендации по эксплуатации объектов ветровой энергетики в климатических особенностях Севера. Объем обзора – не менее 5 листов на А4 в рукописном порядке.

30. Укажите существующие перспективные технологии в области ветровой энергетики с представлением конкретных графических отображений, схем и их описаниями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уважаемый студент, Вы изучили третью часть учебного пособия по возобновляемым источникам энергии в условиях Севера с учетом большинства существующих требований и стандартов. В настоящий момент Вы можете разработать сопроводительную документацию определенного проекта в сфере ветровой энергетики и технико-экономическое обоснование строительства ветровой электростанции микро- и малой мощности.

При рабочей деятельности в энергетических предприятиях, организациях местного самоуправления или исполнительных органах государственной власти рекомендуется применять существующие нормативно-правовые и нормативно-технические акты.

При составлении презентации или расчетов показателей технико-экономического обоснования строительства ветровой электростанции по определенному проекту рекомендуется применение лицензированных программ MS Office Power Point (для презентаций), Splan 7.0 (для составления электрических схема), MS Office Project или Gantt Project (для составления дорожных карт проекта) и др.

В связи с этим рекомендуется подробное ознакомление со стандартами и условиями ГОСТ Р 54418.2-2014 (МЭК 61400-2:2006) и ГОСТ Р 54418.25.1-2013 (МЭК 61400-25-1:2006).

Желаю Вам успехов в учебной и рабочей деятельности в сфере энергетики.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Лукутин, Б.В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. – Томск : Томский политехнический университет, 2015. – 120 с.

2. Лукутин, Б.В. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии / Б. В. Лукутин, В. Р. Киушкина. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2006. – 202 с.

3. Константинов, А.Ф. Нетрадиционные энергоисточники Якутии / А. Ф. Константинов ; А. Ф. Константинов ; отв. ред. Н. С. Бурянина ; Якутский гос. ун-т им. М. К. Аммосова, Горно-геологический ин-т. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – ISBN 5-91138-035-8.

4. Константинов, А. Ф. Общая энергетика : учебное пособие / А. Ф. Константинов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Физико-технический институт П.Ф. Васильев, к.т.н., и.о. зав. кафедрой электроснабжения ФТИ СВФУ - рецензент А.К. Корякин, к.т.н., ОАО «Сахаэнерго». – Якутск : ИД Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, 2020. – 171 с. – ISBN 978-5-7513-2905-1.

5. Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н. Общая энергетика: учебно-методическое пособие. - Якутск: Офсет, 2021. – 80 с. ISBN 978-5-91441-326-9. Утвержден протоколом Учебно-методического совета СВФУ от 27.05.2021 года №4.

6. Местников Н.П. Основы документооборота в промышленных предприятиях: учебное пособие. - Якутск: Офсет, 2021. – 90 с. ISBN 978-5-91441-330-6. Утвержден протоколом Учебно-методического совета СВФУ от 27.05.2021 года №4.

7. Местников Н.П. Возобновляемые источники энергии в условиях Севера. Часть 1: учебное пособие. - Якутск: Офсет, 2021. – 90 с. ISBN 978-5-91441-323-8. Утвержден протоколом Учебно-методического совета СВФУ от 21.10.2021 года №6.

8. Местников Н.П. Возобновляемые источники энергии в условиях Севера. Часть 1: учебное пособие. - Якутск: Офсет, 2021. – 90 с. ISBN 978-5-91441-325-2. Утвержден протоколом Учебно-методического совета СВФУ от 21.10.2021 года №6.

9. Местников, Н.П. Разработка гибридных систем электроснабжения для энергоснабжения удаленных потребителей в

условиях Севера и Арктики / Н.П. Местников, П.Ф. Васильев, Ф.Х. Альхадж // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 1. – С. 47-56. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-76-1-47-56.

10. Исследование эксплуатации комбинированной системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии на Дальнем Востоке России / Н.П. Местников, Н.С. Бурянина, Ю.Ф. Королюк, П. Ф. Васильев // Вопросы электротехнологии. – 2021. – № 2(31). – С. 68-81.

Учебное издание

Местников Николай Петрович

**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА
Часть 3**

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»

Выпускается в авторской редакции

Дата подписания к использованию 11.05.22. Электронное издание.

Объем 3,0 Мб. Тираж 10 дисков. Заказ № 85.

Минимальные системные требования:
процессор с тактовой частотой 1,3 Гц и выше, оперативная память 128 Мб,
операционные системы: Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10,
ОС MAC OS версии 10,8.

Издательский дом Северо-Восточного федерального университета,
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5. E-mail: izdat-svfu@mail.ru

Изготовлено с готового оригинал-макета в Издательском доме СВФУ